



Maisterintutkielma

Matematiikan, fysiikan ja kemian opettajan maisteriohjelma

Fysiikan opintosuunta

Fysiikan aineenopettajaopiskelijoiden käyttämät ilmaiset ja kielelliset rakenteet kvanttifysiikan kaksoisrakokokeen tapauksessa

Timo Kivioja

28.2.2020

Ohjaajat: dosentti Maija Nousiainen
professori Ismo Koponen

Tarkastajat: dosentti Maija Nousiainen
professori Ismo Koponen

HELSINGIN YLIOPISTO
MATEMAATTIS-LUONNONTIETEELLINEN TIEDEKUNTA
PL 64 (Gustaf Hällströmin katu 2a)
00014 Helsingin yliopisto

Tiedekunta — Fakultet — Faculty		Koulutusohjelma — Utbildningsprogram — Degree programme	
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Matematiikan, fysiikan ja kemian opettajan maisteriohjelma	
Tekijä — Författare — Author			
Timo Kivioja			
Työn nimi — Arbetets titel — Title			
Fysiikan aineenopettajaopiskelijoiden käyttämät ilmaisut ja kielelliset rakenteet kvanttifysiikan kaksoisrakokokeen tapauksessa			
Työn laji — Arbetets art — Level		Sivumäärä — Sidantal — Number of pages	
Maisterintutkielma		64	
Tiivistelmä — Referat — Abstract			
<p>Kieli on keskeinen osa oppimista ja niitä ei voida erottaa. Tieteellä on oma kieli, joka eroaa merkittävästi opiskelijoiden tuntemasta arkikielestä monella tapaa. Tieteellinen kieli sisältää suuren määrän informaatiota lyhyessä tekstissä, sisältää opiskelijoille tuntemattomia termejä ja myös lauserakenne on erilainen. Opiskelijoiden tieteen oppimisessa tieteellisen kielen oppiminen onkin yksi suurimmista ongelmista. Tämän vuoksi tulevien fysiikan aineenopettajien kielellisten ilmaisujen tutkiminen on tärkeää. Opinnäytetyössä analysoidaan fysiikan aineenopettajaopiskelijoiden tuottamia tekstejä fysiikan aineenopettajakoulutuksen kurssilta. Aineisto koostuu 12 tekstistä kuudelta eri fysiikan aineenopettajaopiskelijalta. Tarkoituksena on vastata tutkimuskysymyksiin: 1. Miten voimme analysoida aineenopettajaopiskelijoiden sanaston käyttöä? ja 2. Miten fysiikan aineenopettajaopiskelijat käyttävät kaksoisrakokokeen sanastoa? ja kehittää luotettava ja toistettavissa oleva analyysiprotokolla, jolla voidaan analysoida suomenkielisiä tekstejä. Analyysin lopputulos on yksinkertaistettu muoto aineistosta, jota voidaan analysoida tulevaisuudessa mahdollisesti tietokoneella. Teoriaosassa käsitellään lisäksi käsitteitä, käsitteellistä muutosta sekä semanttisia ja sanastollisia verkkoja. Tuloksena itse analyysin tuloksien lisäksi on analyysiprotokolla, jolla pystytään analysoimaan suomenkielisiä tekstejä. Fysiikan aineenopettajaopiskelijoiden tekstien analyysistä saatiin selville, että aineenopettajaopiskelijoiden sanaston käyttö on varsin laajaa ja monipuolista. Analyysin perusteella saatiin myös selville teksteissä esiintyviä mm. tekstissä esiintyviä lauserakenteita ja että teksteissä fysiikan aineenopettajaopiskelijat vaihtoivat aihetta melkein joka toisessa virkkeessä. Analyysiprotokollaa pystytään kuitenkin vielä jatkossa tarkentamalla ja selventämällä sitä. Analyysiprotokollan luotettavuutta pitäisi myös tutkia siten, että toinen analyysin tekijä suorittaisi analyysin.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords			
tieteellinen kieli, analyysiprotokolla, aineenopettajakoulutus, kielelliset ilmaisut			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Additional information			

Sisältö

1	Johdanto	1
2	Teoria	5
2.1	Tieteellinen kieli ja tieteellisen termistön oppiminen	6
2.2	Sanojen merkitys: semanttinen ja sanastollinen verkosto	9
2.3	Käsitteet ja käsitteellinen muutos	14
3	Menetelmät	19
3.1	Tutkimuksen tavoitteet	19
3.2	Kielellisten rakenteiden tunnistaminen	19
3.3	Aineisto	22
3.4	Analyysimenetelmät	23
4	Tulokset	27
5	Tulosten tarkastelu	35
5.1	Luotettavuustarkastelu	37
6	Johtopäätökset	41

1. Johdanto

Perinteisen käsityksen mukaan kielellä on passiivinen rooli ja sitä käytetään vain informaation välittämiseen puhujalta toiselle (Ford & Peat, 1988). Kuitenkaan kielen rooli ei ole näin yksinkertainen, vaan kielellä on keskeinen merkitys oppimisessa ja tieteellisen ajattelun kehityksessä ja kieltä ja oppimista ei voida erottaa toisistaan, sillä kieli vaikuttaa ajatteluun ja siten oppimiseen (Ford & Peat, 1988; Yun & Park, 2018). Kieli koostuu sanastosta, joka koostuu sanoista, joita käytetään kommunikaatioon, sekä kielipista, joka on kokoelma sääntöjä, miten kommunikoida. Opettajat eivät ole yleensä tietoisia, kuinka tärkeä rooli sanastolla on kielten oppimisessa (Meara, 1996). Opettajien arvio tarvittavasta sanaston määrästä vaihtelee muutamasta tuhannesta sanasta moneen miljoonaan sanaan. Tämä opettajien näkemys sanaston koosta vaikuttaa siihen, miten he opettavat sanastoa opiskelijoille. Sanastollisen osaamisen yksinkertaisin suure on koko, ja jos kaikki muut muuttujat ovat samoja, suuremman sanaston hallitsevat opiskelijat pärjäävät muita opiskelijoita paremmin kieleen liittyvissä tehtävissä. Sanaston koon kasvaessa sanaston koon merkitys sanastolliseen osaamiseen pienenee, jolloin tärkeämmäksi nousee sanojen syvällinen osaaminen.

Kielenkäyttö eroaa eri konteksteissa kuten arkielämässä ja tieteessä (Ford & Peat, 1988). Tieteellä on sen oma kieli, joka eroaa arkikielestä (Fang, 2006). Tämän tieteellisen kielen oppiminen on tärkeä osa tieteen oppimista (Ford & Peat, 1988; Yun & Park, 2018). Monien opiskelijoiden suurin ongelma tieteen oppimisessa on itse tieteellisen kielen oppiminen (Wellington & Osborne, 2001). Jos opiskelijat eivät ymmärrä tieteen kieltä, jota käytetään jonkin aiheen opetukseen, he eivät voi ymmärtää tiedettä kyseisestä aiheesta.

Tieteellisellä kielellä on oma sanasto, semantiikka ja lauseoppi, joita opiskelijat eivät tunne ollenkaan (Yun & Park, 2018). Koulun luonnontieteiden opetuksessa käytettävä kieli eroaa kielestä, jota opiskelijat ovat tottuneet käyttämään arkielämässä (Fang, 2006). Tämä ero on suuri syy, miksi opiskelijat kokevat luonnontieteiden tekstin lukemisen vaikeaksi. Yksi tieteellisen kielen suurimmista haasteista on tieteellisen sanaston oppiminen. Tieteen opetuksessa opiskelijat törmäävät suureen määrään tuntemattomia sanoja, joita voi olla jopa enemmän kuin tuntemattomia sanoja kielten opinnoissa (Yun & Park, 2018).

Baharin ym. (1999) mukaan opetusta ja oppimista voidaan kuvata ”mustan laatikon” mallin mukaisesti. Ei voida tietää, mitä oikeasti tapahtuu tutkittavan pään sisällä ”mustassa laatikossa” ja tutkimuksissa voidaan vain muuttaa syötettä ja tutkia tuotosta käyttäen esimerkiksi kokeita ja kyselyitä. Syötettä muutettaessa toivotaan, että saadaan tuotokseen haluttu muutos. Opiskelijat muodostavat itse yksilöllisesti tietoa opettajan esityksen ja aikaisemman tiedon perusteella. Tämän vuoksi opettajan olisi hyödyllistä pystyä näkemään opiskelijoiden pään sisään ”mustaan laatikkoon”, jotta he voivat tietää, miten opiskelijoiden ideat asettuvat heidän kognitiiviseen rakennelmaan, ja täten muokata opetusta sopivammaksi. Kieli on luonnollinen objekti, joka on ihmismielen osa, joka on esitetty fyysisesti aivoissa (Chomsky ym., 2002). Kieli ei ole pelkästään työkalu, vaan se on ”mielen peili”. Tutkittavan käyttämä kieli siis antaa kuvan siitä, mitä tutkittavan pään sisällä tapahtuu, joten kielen avulla päästään tutkimaan ihmisen kognitiota.

Oppiminen voidaan jakaa pinnallisesti oppimiseen eli ulkoa opetteluun, jossa opiskelija ei kiinnitä opittua pitkäaikaiseen muistiin, ja mielekkääseen oppimiseen, jossa opiskelija valitsee tietoisesti, miten hän kytkee uuden tiedon jo olemassa olevaan tietoonsa (Novak, 2002). Opiskelijat usein oppivat tiedon ulkoa opettelemalla ja saavat hyviä tuloksia testeissä. Kuitenkin tämä tieto unohtuu pian ja vaikka tieto muistettaisiin, sitä ei osata hyödyntää uusissa konteksteissa kuten yksinkertaisissa ongelmanratkaisuihin. Tätä tiedon soveltamisen ongelmaa kutsutaan tilannesidonnaiseksi oppimiseksi. Kouluissa tapahtuu paljon ulkoa opettelemista ja on yleistä, että opiskelijat eivät kykene käyttämään oppimaansa tietoa eri konteksteissa. Harhakäsitykset lisäävät tiedon tilannesidonnaisuutta ja ulkoa opettelu ei muuta opiskelijoiden tietorakennelmia, jolloin opiskelijoille jää rajoitettu tai huono kyky soveltaa osaamistaan muissa tilanteissa. Ei ole helppoa saada opiskelijoita oppimaan mielekkäästi, mutta käsittekarttatyökalut voivat auttaa tässä ja monet tutkimukset tukevat tätä väitettä.

Helsingin yliopistossa aineenopettajakoulutuksessa on käytetty ns. didaktisia rekonstruktioita (DR), jotka koostuvat käsitekartoista ja käsitekarttoja selittävistä teksteistä (Mäntylä & Nousiainen, 2014; Nousiainen, 2013). Didaktiset rekonstruktiot (DR) ovat työkalu tiedon syvälliseen oppimiseen ja oman tiedon uudelleenrakentamiseen aineenopettajille ja aineenopettajaopiskelijoille (Mäntylä & Nousiainen, 2014). Didaktisen rekonstruktion tulisi olla koherentti kokonaisuus, minkä avulla voi opettaa jonkin tietyn aihealueen. Didaktiset rekonstruktiot koostuvat kahdesta osasta: käsitekartasta ja käsitekarttaa selittävästä tekstistä. Käsitekartta koostuu solmuista ja linkeistä. Solmut voivat olla sanoja, käsitteitä tai esim. fysiikan historiallinen koe. Solmut ovat yhdistettyinä toisiinsa solmuihin linkeillä, joilla on suunta. Linkkien luonne on myös ilmaistu lyhyesti n. 1-3 sanalla. Linkkien ja solmujen määrää ei ole rajoitettu, mutta linkkien tulee olla perusteltuja. Selittävässä teksteissä selitetään solmujen sisältöä ja tarkemmin

solmujen yhteyttä toisiin solmuihin. Teksteissä on siis aiheeseen liittyvien kokeiden, mallien ja kaavojen selitykset ja miten nämä liittyvät toisiinsa. Näissä teksteissä tulee ilmi aineenopettajaopiskelijan ymmärrys aiheesta. Didaktiset rekonstruktiot eivät kuitenkaan ole suoraan kuvaus, miten aineenopettajaopiskelija opettaisi asian, mutta se viittaa, miten aineenopettajaopiskelija näkee aihekokonaisuuden ja antaa viitekehyksen opetuksen rakentamiselle.

Opinnäytetyössä analysoitavana on 12 selittävää tekstiä didaktisista rekonstruktioista kuudelta eri fysiikan aineenopettajaopiskelijalta. Nämä tekstit käsittelevät aalto-hiukkasdualismia, joista ensimmäisen tekstin aihe on ”Aalto-hiukkasdualismi: valon hiukkasluonne” (DR3) ja toinen on ”Aalto-hiukkasdualismi: elektronien aaltoluonne” (DR4). Analysoitavien selittävien tekstien pituudet ovat keskimäärin n. 1,5 sivua. Opiskelijoille annetut ohjeet didaktisten rekonstruktioiden tekemiseen ovat liiteosan lopussa.

Aalto-hiukkasdualismi, jota analysoidaan tekstit käsittelevät, on yksi keskeisimmistä historian käsitteistä kvanttifysiikan kehittyessä (Cheong & Song, 2014). Keskeisimmät kvanttifysiikan aiheet aalto-hiukkasdualismiin liittyen ovat kaksoisrakokoe sekä fotoneilla että elektroneilla, valosähköinen ilmiö ja de Broglien aallonpituus. Opiskelijoilla on tapana sekoittaa useita teorioita, kuten kaksoisrakokokeen selityksessä klassisen fysiikan liikeradan ja aaltofunktion selitykset (Cheong & Song, 2014).

Youngin kaksoisrakokokeessa valo kulkee kaksoisraon läpi ja muodostaa interferenssikuvion taustalle. Tämä varmistaa, että valo käyttäytyy aallon tavoin tässä yhteydessä. Valosähköisen ilmiön perusteella valo on kvantittunut ja käyttäytyy hiukkasen tavoin. Youngin kaksoisrakokokeen ja valosähköisen ilmiön kokeen tulokset ovat klassisen fysiikan näkökulmasta ristiriidassa, koska valo käyttäytyy sekä aallon että hiukkasen tavoin.

Kaikella aineella on aallonpituus, joka riippuu hiukkasen liikemäärästä. Tätä aallonpituutta kutsutaan de Broglien aallonpituudeksi. Sen lisäksi, että valolla on sekä aalto- että hiukkasominaisuuksia, myös hiukkasilla on aalto-ominaisuuksia. Tämä de Broglien hypoteesi voidaan varmistaa suorittamalla kaksoisrakokoe elektronisuihkulla. Kokeessa havaitaan, että kun raot ovat alle de Broglien aallonpituuden suuruiset, elektronit muodostavat interferenssikuvion (Hobson, 2005). Kaksoisrakokokeessa elektroneilla käy ilmi, että elektronit käyttäytyvät aallon tavoin. Tämä pätee myös muille hiukkasille ja suuremmille molekyyille, kuten hiili C_{60} fullereeni -molekyyille. Massallisilla hiukkasilla on siis aalto-ominaisuuksia ja sähkömagneettisella aallolla on hiukkasominaisuuksia.

Jos kaksoisrakokoe toistetaan niin heikolla valonlähteellä, että koe tehdään yksittäisillä fotoneilla pitkällä aikavälillä, havaitaan jälleen sama interferenssi-ilmiö kuin Youngin kaksoisrakokokeessa, vaikka fotonit kulkevat yksitellen kaksoisraon läpi (Hob-

son, 2005). Tämä voidaan tulkita siten, että interferenssi syntyy fotonin vuorovaikutuksesta itsensä kanssa. Koe voidaan toistaa myös yksittäisillä elektroneilla ja muilla massallisilla hiukkasilla, jolloin havaitaan jälleen sama interferenssikuvio ajan kuluessa. Tätä ristiriitaa, että valo ja aine käyttäytyvät sekä aaltojen että hiukkasten tavoin kutsutaan aalto-hiukkasdualismiksi.

Kvanttikenttäteorian näkökulmasta fotonit, kvarkit, elektronit ja atomit ovat kaikki eri avaruuden täyttävien kenttien kvantteja tai tarkemmin kenttien kvantittuneita värähtelyjen viritystiloja (Hobson, 2005). Koska kvantit ovat koko kentän viritystiloja, niillä ei ole yksittäisiä identiteettejä, ja ne voivat tuhoutua ja syntyä. Kvanttikenttäteoria ratkaisee aalto-hiukkasdualismin ongelman, mutta se ei poista sitä. Kvanttikentillä on edelleen sekä aalto-ominaisuuksia kentän vuoksi että hiukkasominaisuuksia kvantittumisen vuoksi.

Opinnäytetyössä analysoidaan fysiikan aineenopettajaopiskelijoiden aineenopettajakurssilla kirjoittamia didaktisten rekonstruktioiden selittäviä tekstejä koskien kaksoisrakokoetta fotoneilla ja elektroneilla. Tarkoituksena on tuottaa analyysiprotokolla, joka on toistettava ja luotettava, ja jonka avulla suomenkielisiä tekstejä voidaan analysoida ja saada muotoon, josta tietokoneella jatkoanalyysi on mahdollista. Jatkoanalyysissä voidaan analysoida aineistoa syvemmin esimerkiksi verkkoanalyysissä.

2. Teoria

Metakognitio on oman ajattelun tiedostamista ja sen kehittämistä (Glynn & Muth, 1994). Osana metakognitiota on tavoitteiden asettamisen osaaminen ja strategioiden tunnistaminen, joiden avulla asetetut tavoitteet voidaan saavuttaa. Opiskelijat voivat rakentaa mielessään kuvauksen tekstistä, kun he yhdistävät tieteellisten prosessien ja lukutaidon avulla luettavasta tekstistä saatavan uuden tiedon heidän aikaisempaan tietoonsa. Tämä kuvaus on merkityksellinen opiskelijoille ja sen takia helpommin muistettava ja sovellettava. Samalla kuitenkin kuvaus voi sisältää väärinkäsityksiä tekstistä, mutta tämä on normaali tulos uuden tiedon rakentamiselle. Väärinkäsitykset voitaisiin välttää ulkoa opettelemalla, mutta tämä ei ole muistamisen tai soveltamisen kannalta hyödyllistä. Oppikirjoista ja muista teksteistä oppimisen tulisi olla mielekästä, käsitteitä yhdistävää ja aktiivista. Passiivinen, irrallinen ulkoa opettelu on tylsää, helposti unohdettavissa ja soveltamatonta. Jotta opiskelijat voivat ymmärtää tieteen olennaisia käsitteitä oppikirjoissa, opiskelijat tarvitsevat aktiviteetteja ja strategioita, jotka tukevat aktiivista oppimista.

Verkko on graafinen malli ja esitys tiedosta, jossa on solmuja ja linkkejä (Sowa, 1987). Verkkotutkimusta sovelletaan yhä enemmän data-analyysiin, joissa verkkoesitys ei ole ilmiselvä analyysitapa (Araújo & Banisch, 2016). Tämä on totta varsinkin lingvististen verkkojen kuvaamisessa. Lingvistikissa verkoissa on paljon abstraktisuutta verrattuna muiden tutkimusalojen verkkoihin. Lingvistiset verkot ovat usein rakennettu lingvistikasta datasta, joissa verkkoesitys on vain yksi vaihtoehto monista. Vaikka verkon rakentaminen ja analysointi ovat erillisiä toimintoja, ne ovat vahvasti kytkeytyneitä toisiinsa. Lingvistiset verkot riippuvat vahvasti siitä, mistä tekstistä ne koostuvat. Esimerkiksi sanat voivat olla yhdistettynä, jos ne ovat usein samassa kontekstissa. Miten verkko määritetään lingvistikassa, riippuu paljon siitä, mitä tutkimuksessa on tarkoituksena tutkia. Tämän perusteella verkot voivat olla todella erilaisia.

2.1 Tieteellinen kieli ja tieteellisen termistön oppiminen

Tieteellä on sen oma kieli, joka on kehittynyt tiettyyn tarpeeseen, joka eroaa arkikielestä merkittävästi (Fang, 2006). Tieteellisessä kielessä on oma sanasto, semantiikka ja lauseoppi. Se on kehittynyt tiedeyhteisön toiminnan mukana ja se mahdollistaa tutkijoiden kommunikaation. Vaikka koulussa opetettava tiede eroaa todellisesta tieteestä, niitä kuitenkin yhdistää tieteellinen kieli. Tiede tarvitsee metodeja havaitsemiseen, tunnistamiseen ja kuvailemiseen (Fang & Wei, 2010). Samalla tiede koostuu keskusteluista ja kirjoituksista. Tutkijat käyttävät kieltä tutkimiseen ja teoreettisten selityksien muodostamiseen. Lukeminen on erottamattomasti kiinnitetty tieteen luonteeseen. Opiskelijoiden täytyy pystyä lukemaan tai muuten heidän tieteen tiedonrakentumisensa on merkittävästi rajoitettua. Kieli on olennainen teknologia ja siten keskeinen osa tiedettä ja tieteen kirjallisuutta (Yore ym., 2004). Kieli on väline tieteen tekemiseen ja tieteellisen ymmärryksen rakentamiseen. Kieli on myös tieteellisen kirjallisuuden perimmäinen tavoite.

Luonnontieteen opettajat ja oppikirjojen kirjoittajat usein unohtavat, että he ovat tieteellisen kielen ”natiiveja” ja opiskelijat eivät tunne tieteellistä kieltä ollenkaan (Yun & Park, 2018). Koulun luonnontieteiden opetuksessa käytettävä kieli eroaa kielestä, jota opiskelijat ovat tottuneet käyttämään arkielämässä (Fang, 2006). Tämä ero on suuri syy, miksi opiskelijat kokevat luonnontieteiden tekstien lukemisen vaikeaksi. Opiskelijat käyttävät tieteellistä kieltä todella vähän verrattuna arkikieleen, joten on tärkeää, että opiskelijat upotetaan tieteelliseen kieleen ohjatusti, jolloin opiskelijat tottuvat tieteelliseen kieleen (Yun & Park, 2018). Joidenkin tutkijoiden mukaan ala-asteen oppikirjat ovat lähellä oppilaiden arkikieltä, mutta yläasteen ja lukion luonnontieteiden kieli on taas selittävää, erikoistunutta ja se eroaa arkikielestä huomattavasti, jonka vuoksi se on vierasta ja vaikeammin ymmärrettävää opiskelijoille (Fang, 2006).

Monien opiskelijoiden suurin ongelma tieteen oppimisessa on itse tieteellisen kielen oppiminen (Wellington & Osborne, 2001). Koska yläasteen oppilailla on väärinkäsityksiä tieteellisestä kielestä ja sen lukemisesta, on tärkeää, että opettaja suunnittelee opetustaan sisältämään tieteellisen kielen ominaisuuksien selittämistä (Fang, 2006). Opiskelijoiden tulisi olla tietoisia tieteellisen kielen ominaisuuksista, mikä auttaisi opiskelijoita paremmin ymmärtämään tieteellistä kieltä ja tiedettä. Oppilaat eivät opi lukemaan täydellisesti ala-asteella, vaan heidän täytyy kehittää lukutaitoansa, jotta he voivat jatkossa lukea vaativampia ja erikoistuneita tekstejä (Fang & Wei, 2010). Monet opiskelijat pystyvät lukemaan yksinkertaisia tekstejä, mutta monet eivät kykene ymmärtämään erikoistuneita ja vaikeampia tekstejä, ja näin he eivät ole valmiita

yliopisto-opintoihin ja työelämään. Tämän vuoksi opiskelijoita tulisi tukea enemmän haastavien tekstien lukemisen taidon kehittämisessä.

Yksi tieteellisen kielen oppimisen suurimmista haasteista on tieteellisen sanaston oppiminen (Fang, 2006). Luonnontieteiden oppikirjoissa voi olla enemmän uusia sanoja kuin vastaavassa ajassa kielten opinnoissa (Yager, 1983). Yksi suurimmista tieteen opettamisen ongelmista on opiskelijoiden tieteellisten sanojen määrä, jota opiskelijoiden täytyy oppia. Kielten oppimiseen vaadittavan sanaston koko vaihtelee eri tutkimuksissa paljon. Eri kielissä eri tutkijoiden mukaan uusien opittavien sanojen määrä vuodessa yläasteen opinnoissa on n. 1250, lukiotasolla n. 2000 ja yliopistossa n. 3000. Tutkimuksen mukaan yläasteen luonnontieteen opetuksessa oppilaiden tuli oppia 2500 uutta sanaa. Tämä on noin kaksinkertainen määrä verrattuna kielten opintoihin. Toisen tutkimuksen mukaan lukiotasolla kemian kurssissa opiskelijoiden täytyisi oppia 10000 uutta sanaa, joka on nelinkertainen määrä verrattuna ranskan opintoihin yhdessä periodissa. Tieteen opetuksessa sanaston oppimista pidetään myös erittäin tärkeänä ja tieteen opetuksessa yleisesti joudutaan oppimaan enemmän uusia sanoja verrattuna kielten opintoihin. Opettajien turvautuminen suuriin sanamääriin saattaa viitata opettajien oman tieteen osaamisen rajoihin. Luonnontieteen opettajat käyttävät opetuksessa liikaa uusia termejä ja niiden määrä voi olla liikaa jopa suurimmalle osalle yliopisto-opiskelijoista.

Tieteellisessä kielessä on monia eri asioita, jotka aiheuttavat ongelmia opiskelijoille. Tieteellinen kieli sisältää paljon teknisiä termejä, joihin opiskelijat harvoin törmäävät arkielämässä (Fang, 2006). Nämä termit ovat tieteen kannalta tärkeitä, koska ne mahdollistavat asioiden ja ilmiöiden tarkan käsittelyn ja niiden suhteiden selittämisen. Tieteellinen kieli sisältää myös yleensä paljon termejä yksittäisissä virkkeissä. Termit voivat muodostaa jopa yli kolmasosan koko virkkeestä, jolloin informaation tiheys on liikaa opiskelijoille, vaikka he olisivat muuten kokeneita lukijoita. Tieteellisessä kielessä informaatiotiheyttä nostavat myös pitkät virkkeet, joissa on paljon nomineita. Virkkeen objektina voi olla esimerkiksi ”klassinen liikkeessä oleva varauksellinen alkeishiukkanen”. Jokainen nomini lisää informaation määrää samassa virkkeessä, kun taas arkikielessä samankaltaisessa tilanteessa muodostettaisiin useita erillisiä virkeitä. Tämä informaation määrä vaikeuttaa ymmärtämistä, koska opiskelijoiden lyhytaikaismuisti ei kykene muistamaan kaikkea. Lyhytaikaismuistin ylitys hidastaa opiskelijoiden lukemista ja vaikeuttaa sitä huomattavasti. Teknisten termien lisäksi opiskelijoille tutut sanat uudessa kontekstissa aiheuttavat ongelmia. Termit kuten ”työ” tai ”voima” ovat tuttuja opiskelijoille arkielämästä, mutta niiden merkitys fysiikassa poikkeaa arkikielestä täysin. Opiskelijat eivät välttämättä tiedä, että sanan merkitys poikkeaa heidän ymmärryksestään. Tämä vaikeuttaa ymmärtämistä ja voi aiheuttaa turhautumista. Uusien tieteellisten termien, joilla on toinen merkitys arkikielessä, opetuksessa

tulisi verrata tieteellistä ja arkimerkitystä keskenään. Termit tulisi myös opettaa mielekkäässä kontekstissa, jolloin ne eivät jää ulkoa opituiksi.

Nämä mainitut tieteellisen kielen ominaisuudet tekevät yhdessä tieteellisistä teksteistä tiheitä, abstrakteja ja vaikeasti luettavia verrattuna teksteihin, joita opiskelijat ovat tottuneet lukemaan aikaisemmissa opinnoissaan (Fang, 2006). Näiden tieteellisten kielen ominaisuuksien tunteminen on tärkeää ja saattaa auttaa opiskelijoita ymmärtämään tieteellistä kieltä. Tieteellisen kielen oppimisen ongelma vaikeutuu entisestään, jos opiskelijat joutuvat käyttämään koulussa jotain muuta kieltä heidän oman äidin-kielensä sijasta.

Lukeminen ja kirjoittaminen ovat tärkeitä aktiviteetteja auttamaan opiskelijoita pääsemään syvälliseen ymmärrykseen tieteestä (Glynn & Muth, 1994). Lukeminen ja kirjoittaminen toimivat käsitteellisinä työkaluina auttaen opiskelijoita analysoimaan, tekemään johtopäätöksiä ja kommunikoimaan tieteellisiä ideoita. Nämä voivat auttaa opiskelijoita käyttämään syvällistä pohdintaa ja ongelmanratkaisuprosesseja, joita tutkijat käyttävät työssään. Tieteellisen tekstin ymmärrystä voi auttaa myös kääntämisharjoitukset, joissa arkikielistä tekstiä muokataan tieteelliseksi sekä tieteellistä tekstiä muokataan arkikieliseksi (Fang, 2006). On hyödyllistä, jos samalla opettaja painottaa opiskelijoille tieteellisen ja arkikielen sekä samankaltaisuuksien että eroavaisuuksien mielessä pitämistä. Tämä auttaa hallitsemaan tieteellistä kieltä paremmin ja vähentää eroa tieteellisen ja arkikielen välillä. Yläasteen oppilailla on paljon väärinkäsityksiä tieteellisestä lukemisesta ja heillä on puutteelliset kyvyt lukea tieteellisiä tekstejä (Fang & Wei, 2010). Tämän vuoksi opiskelijat tarvitsevat lukemisstrategioita ja lisäksi opiskelijoiden tieteen taustatiedon lisääminen auttaa tieteellisessä lukemisessa. Opiskelijan tiedon määrä kontekstissa vaikuttaa merkittävästi hänen kykyynsä lukea tieteellisiä tekstejä kyseisestä aiheesta. Olennaiset aihealueet ovat juuri sopivia paikkoja opiskelijoiden lukutaidon parantamiseen ja aiheen tieto yhdessä sanaston kanssa on avain tieteellisten tekstien ymmärtämiseen. Tutkimuksien mukaan lukemisen ja tieteen opetuksen yhdistäminen tuottaa hyviä tuloksia ja opiskelijat oppivat lukutaidon lisäksi tiedettä tällöin paremmin.

Lukemisen sisällyttäminen luonnontieteen opetukseen koulussa on kuitenkin haastavaa (Fang & Wei, 2010). Oppilailla on usein vähän motivaatiota lukea ja kirjoittaa. Lukeminen vie lisäksi aikaa pois itse tieteen opetukselta, jolla on jo valmiiksi vähän aikaa opetussuunnitelmassa. Luonnontieteiden opettajat saattavat olla juuri ajan takia lukemisharjoituksia vastaan. Tutkimuksien mukaan luonnontieteen opettajat kuitenkin eivät ole yleensä lukemisharjoitusten lisäämistä vastaan, mutta heillä on puutteelliset tiedot, resurssit ja tuki, jotta he voisivat sisällyttää lukemista opetuksensa. Ongelmana on myös, että opiskelijat usein menettävät kiinnostuksensa tiedettä kohtaan jo ala- ja yläasteen aikana (Glynn & Muth, 1994). Lukiotasolla Yhdysvallois-

sa opiskelijoiden mielestä tiede on vaikeaa, tylsää ja merkityksetöntä, minkä vuoksi yhdysvaltalaiset opiskelijat eivät pärjää hyvin opiskelijoiden taitojen mittauksissa.

Tieteellisesti lukutaitoinen henkilö on tietoinen, että tiede, matematiikka ja teknologia ovat irrallisia yhtiöistä, ymmärtää tieteen keskeisiä käsitteitä ja periaatteita, tuntee luonnollisen maailman ja sen monimutkaisuuden ja käyttää tieteellistä tietoa omiin ja yhteiskunnan tarkoituksiin (Glynn & Muth, 1994). Tämän perusteella monet opiskelijat eivät ole tieteellisesti lukutaitoisia. Opiskelijoiden tulee olla tieteellisesti lukutaitoisia, jotta he voivat harkita ja ajatella kriittisesti eri aiheita. Opiskelijoilla tulisi myös olla kyky arvioida lukemaansa informaatiota ja kirjoitustaito, jolla he voivat kommunikoida heidän ajatuksensa toisille. Tärkeä asia opiskelijoiden tieteellisen kirjallisuuden ymmärtämisessä on koulun opintosuunnitelman tukeminen oppimaan merkityksellisesti tiedettä. Opettamisen tutkijoilla on tärkeä rooli tässä suhteessa antaa opettajille, opettajien kouluttajille ja opetussuunnitelmien laatijoille tietoa siitä, miten muodostaa opintosuunnitelma, joka tukee tieteellisen lukutaidon kehittymistä. Tieteellistä lukutaitoa painottavassa opinnoissa lukeminen ja kirjoittaminen voivat toimia merkittävänä apuna tieteen oppimisessa. Opetuksen tutkijoiden tehtävänä on näyttää, miten lukemista ja kirjoittamista voidaan käyttää tehokkaimmin tukemaan tieteen oppimista.

2.2 Sanojen merkitys: semanttinen ja sanastollinen verkosto

Semanttinen merkitys liittyy kuvauksiin, jotka ovat erikoistuneet kieleen (Evans, 2009). Semanttinen verkosto on graafinen malli ja esitys tiedosta, jossa on solmuja ja linkkejä (Sowa, 1987; Drieger, 2013). Kognitiivisessa tieteessä semanttiset verkostot muodostuvat sanoista, jotka ovat yhdistetty toisiinsa linkeillä (De Deyne ym., 2016). Semanttisia verkostoja käytetään yleensä sanojen merkityksen ilmaisemiseen mielen sanastosta. Mielen sanasto koostuu solmuista, jotka vastaavat sanastollisia käsitteitä ja linkit näiden käsitteiden välillä kuvaavat sanasto-semanttisia yhteyksiä. Sanastollinen käsite on malli, jota käytetään semanttisen verkoston mallinnukseen (Evans, 2009). Se ei ole suoraan koodattu kielestä, mutta kieli mahdollistaa yhteyden tähän tasoon.

Sanastollisia kuvauksia kutsutaan käsitteelliseksi verkostoksi (Evans, 2009). Käsitteellinen verkosto liittyy ei-kielellisiin tiedon esityksiin, johon sanat liittyvät ja käsitteellinen verkosto vaikuttaa kielenkäyttöön eri tilanteissa. Yhdessä semanttinen verkosto ja käsitteellinen verkosto muodostavat semanttisen esityksen. Vaikka päivittäinen kielenkäyttö ja ilmaisujen tulkinta on helppoa, semanttisen esityksen luonne on todella monimutkainen ja tämän prosessin ymmärrys on vielä puutteellista.

Mielen sanasto on kielestä johdettu verkosto (De Deyne ym., 2016). Mielen sanaston tulisi kuvata yhteisiä subjektiivisia merkityksiä ja mahdollistaa kielen käyttäjien tehokkaan kommunikaation. Oletuksena on, että puhujan kehittyessä hänen sanastonsa matkii lingvistisiä ominaisuuksia hänen ympäristöstään. Mielen sanasto saa merkityksensä jatkuvasta altistumisesta sanoihin konteksteissa, jossa sanojen merkitys voidaan samaistaa sen käyttöön kielessä. Mielen sanaston malli rakentuu ilmaisujen kriittisen informaation perusteella ja sisältää osien kieliopillista ymmärrystä ja integraation aikaisempaan tietoon. Sen lisäksi että ihmiset oppivat, mitkä sanat ilmenevät yhdessä osana kieltä, eri kielen osien tietoa ja syntaktisia rakennelmia käytetään lisäinformaation saavuttamiseksi ilmaisun merkityksestä. Monissa kielissä sanojen merkitys ja puheen osien ominaisuudet riippuvat merkittävästi toisistaan, minkä vuoksi pystytään määrittämään, mitä verbejä ja mitä nomineita on, sekä verbien ja nominien ominaisuuksia. Kielen verkostot, jotka on muodostettu syntaktisesti selitetyistä tekstikorpuksista, johtavat esityksiin, jotka selittävät joitakin mielen sanaston ominaisuuksia.

Literalismin mukaan virkkeen merkitys muodostuu vain sanoista ja kieliopista (Evans, 2009). Kielen osat ovat sanoja ja sääntöjä, ja säännöt yhdistävät sanoja, jotka tuovat merkityksen. Literalismin oletuksesta johtuu, että sanojen merkitykset ovat suhteellisen muuttumattomia ja sanojen merkitys ja siitä johtuen virkkeiden merkitys on riippumaton kontekstista. Kuitenkin koko virkkeen merkitys, ns. puhujan merkitys, voi riippua kontekstista, mitä käsittelee pragmatiikka. Literalismin ongelmana on virkkeen kontekstista riippumattoman merkityksen ja kontekstista riippuvan puhujan merkityksen irrallisuus. Literalismissa on siis selvä kahtiajako semantiikan ja pragmatiikan välillä. Monien mielestä kuitenkin jako kontekstista riippumattoman merkityksen ja kontekstista riippuvan merkityksen välillä ei ole selvä. Tämä johtaa siihen, että sanojen merkityksen riippumattomuus kontekstista on ongelma. Pragmatiikassa on todistettu, että sanan merkitys ja sanojen merkitys virkkeessä on yleensä riippuvainen kontekstista ja taustatiedosta, vasten literalismin käsitystä.

Sanojen merkitys tulee suuresta semanttisesta potentiaalista, joka rajoittuu kontekstista, jonka osa se on (Evans, 2009). Ilmaisusta tulee konteksti, joka on osana sanan merkityksen määrittämisessä. Esimerkiksi sanan painotus voi muuttaa sanan merkitystä. Ilmaisun aika, paikka ja media vaikuttavat yhdessä ilmaisussa käytettyjen sanojen merkitykseen eli aika, paikka ja media muodostavat kontekstin sanoille. Tällaisessa tapauksessa konteksti on jotain lingvistiikan ulkopuolella. Jotta ilmaisuja voidaan ymmärtää, niitä täytyy tulkita ja ottaa huomioon lingvistiikan ulkopuolella oleva konteksti.

Kognitiivinen sanastollinen semantiikka tutkii sanojen merkitystä (Evans, 2009). Sanastolliset esitykset ovat erittäin monimutkaisia. Sanojen merkitykset, jotka voivat olla kontekstista riippuvaisia, ovat säilytettyinä irrallisena muusta tiedosta. Tätä säily-

tettyä tietoa kutsutaan ensyklopediseksi tiedoksi. Ensyklopedinen tieto on suhteellisen muuttumatonta. Ensyklopedinen tieto on tarkkaa, laajaa, rakenteellista tietoa, joka on suurelta osin ei-lingvististä ja käsitteellistä. Puhujat ja kuulijat käyttävät ensyklopedista tietoa käyttäessään kieltä ja tämä tieto antaa kontekstin, josta sanat saavat merkityksensä. Sanastolliset käsitteet avaavat yhteyden ensyklopediseen tietoon, jota rajoittaa ja määrittää konteksti. Semanttinen verkosto, johon sanat ovat yhdistettyinä, ei ole sama asia kuin sanan merkitys, vaan sanan merkitys on aina funktio sanan kontekstista, jossa sana on ja johon sana vaikuttaa.

Konteksti on monimutkainen ja monipuolinen ilmiö (Evans, 2009). Jokaisen käytetyn sanan merkitys on muuntautumiskykyinen ja se riippuu kontekstista, jonka osana sana on. Jokaisen sanan tarkka semanttinen kontribuutio on funktio kontekstista, jossa sana on osana. Sanoilla ei ole diskreettiä, ajatonta, kontekstista riippumatonta merkitystä vasten literalismin ajatuksia. Sanat eivät ole koskaan merkityksellisiä ilman kontekstia ja ensyklopedinen tieto ja yli-lingvistinen konteksti vain ohjaavat, miten sanat ilmaisuissa tulee tulkita. Sanojen merkitykset vaihtelevat, ovat avoimia ja riippuvat vahvasti ilmaisun kontekstista. Sanan merkitys tulkitaan vasta, kun koko virkkeen merkitys on tulkittu. Yksittäisen sanan merkitys määrittyy ensyklopedisen tiedon perusteella, joihin sanat avaavat yhteyden kontekstin perusteella sen sijaan, että ilmaisun merkitys olisi seurausta kontekstista riippumattomien sanojen merkityksestä. Sanat ovat kontekstuaalisia ilmaisuja. Ilmaisun merkitys muodostuu sanojen merkityksestä sekä lingvistisessä ja ei-lingvistisessä kontekstissa ja lopputulos johtuu kaikista kolmesta osasta. Merkitystä ei siis voida tulkita pelkästään sanoista, vaan yksittäisten sanojen semanttinen osuus muodostuu kaikista osista.

Merkitys ei ole vain sanojen tai kielen ominaisuus, vaan merkitys tulee esille siitä, miten sanoja ja kieltä käytetään kielen käyttäjien kesken (Evans, 2009). Ilmaisun merkitykseen vaikuttaa useita lingvistisiä yksiköitä. Täytyy ottaa huomioon sanastollisten ja konstruktionaalisten merkityksien integraatio. Merkitys on ilmaisun funktio eikä sanoihin liittyvä sanastollinen esitys. Sanat ovat osana sanastollisten käsitteiden rakentamista, jotka ovat semanttisen verkoston yksiköitä. Sanastollinen käsite on käsitteellinen esitys, joka on erikoistunut, koodattu ja ilmaistu kielen avulla. Sanastollisissa esityksissä on olennaista, miten sanastolliset käsitteet tuovat yhteyden sanastollisissa esityksissä. Tätä kutsutaan kognitiiviseksi malliksi. Kuvainnollinen merkitys johtuu sanastollisten käsitteiden ja ei-lingvististen käsitteellisten resurssien yhteydestä, johon sanastolliset käsitteet luovat yhteyden. Tästä johtuu, että kirjaimellisen ja kuvainnollisen kielen välillä on yhteys. Sanan merkitystä ei voida ymmärtää ilman sanaa suurempaa tiedon määrää. Ensyklopedisen semantiikan mukaan sanan merkitys liittyy suurempaan ja kompleksiseen tietorakenteeseen.

Osa sanojen lingvistisestä tiedosta sisältää semanttisia argumentteja, jotka ker-

toivat, mitä sanan yhteydessä ilmeneviä muita sanoja ja kieliopillisia konstruktioita voi olla (Evans, 2009). Jokaisella sanalla on valintakriteerejä ja mitä muita sanoja ja kieliopillisia konstruktioita sen yhteydessä esiintyy. Tätä kutsutaan sanastolliseksi profiiliksi.

Kieliopin kognitiivisessa lähestymistavassa kielenkäyttäjän mielen kielioppi on lingvistinen yksikkö, joka on merkityksellinen samoin kuin sanat (Evans, 2009). Kieliopillinen rakennelma on sanojen tason yläpuolella kuten virkkeiden syntaksi, joissa on havaittu olevan merkityksiä. Sanojen lisäksi siis myös kieliopilliset rakenteet sisältävät merkitystä. Täten kielioppi ei ole vain abstrakti kokoelma sääntöjä, jotka ohjaavat sanoja, vaan sanasto ja kielioppi muodostavat jatkumon, joissa yksiköillä on merkitys. Tätä kutsutaan sanasto-kielioppi-jatkumoksi. Kognitiivisessa kieliopissa symboliset yksiköt, jotka muodostavat yksilökielen tiedon rakenteen, ovat kehittyneet kielen käytöstä. Tämä koostuu abstrahoinnista ja skematisoisesta. Abstrahoinnissa yleistetään kielessä esiintyviä rakennelmia. Skematisointi on tietynlaista abstrahoimista, jossa esitykset ovat todella yksinkertaistettuja verrattuna oikeisiin ilmaisuihin, joista ne ovat johdettu. Skematisoisesta syntyy skeemoja valitsemalla erilaisten rakenteiden yhdistävät tekijät ja jättämällä erot pois. Kieli rakentuu symbolisista yksiköistä, jotka muodostavat merkitystä kaikilla tasoilla.

Semanttinen verkosto ja käsitteellinen verkosto muodostavat kaksi erillistä kuvauksien tasoa ja ne kuuluvat erillisiin systeemeihin: lingvistiseen systeemiin ja käsitteelliseen systeemiin (Evans, 2009). Lingvistinen systeemi kehittyi ohjaamalla tehokkaammin olemassa olevia esityksiä käsitteellisessä systeemissä. Lingvistiset esitykset ovat erikoistuneet auttamaan käsitteellisen verkoston esityksien rakentamisessa, ohjaamalla esityksien käyttöä kommunikaatiossa. Käsitteellinen systeemi kehittyi toimintaan ja havaintoihin, eli kielellisiin tarkoituksiin, syntynyt kieli ohjasi käsitteellisten esityksien käyttöä kielellisen merkityksen rakentamiseen. Semanttinen verkosto ja käsitteellinen verkosto ovat irralliset ja niillä on perusteellisesti erilaiset esitykset. Tämä eroavaisuus ohjaa merkityksen rakennusta. Semanttinen verkosto ohjaa yhteyttä käsitteelliseen verkostoon, minkä vuoksi sanat ovat muovautumiskykyisiä. Kognitiivinen semantiikka tutkii kokemuksen, käsitteellisen systeemin ja semanttisen verkoston yhteyttä ja kielen koodausta. Sanastolliset käsitteet ovat tärkeä osa semanttista verkostoa. Semanttisen verkoston tärkeä osa on tieto siitä, minkä muiden sanojen ja rakenteiden kanssa joku sanastollinen käsite voi esiintyä. Semanttinen verkosto toisin kuin käsitteellinen verkosto on suoraan koodattu kielestä ja se saa erikoistuneen ja täsmennetyn muodon, jota kutsutaan sanastolliseksi käsitteeksi. Sanastolliset käsitteet ovat käsitteitä ja skemaattisia semanttisia esityksiä. Lisäksi sanastolliset käsitteet mahdollistavat sisäänkäynnin käsitteelliseen rakenteeseen.

Kuullunymmärtämisen sanan tunnistus koostuu kohtaamisesta, valinnasta ja integraatiosta (Marslen-Wilson, 1987). Kohtaus on puheen kartoitusta esityksiksi sanas-

tolliseen muotoon. Valinta on parhaiten sopivan erottelua, integraatio on syntaktista kartoitusta ja semanttista tietoa sanastollisella tasolla ja korkeammille tasoille viemistä. Puhutun ymmärtäminen on äänen yhdistämistä merkitykseen. Tämän keskellä on sanojen tunnistamisen prosessi, koska tiedon esitykset mielen sanastossa yhdistävät äänet ja merkitykset, yhdistämällä sanojen fonologiset ominaisuudet niiden syntaktisiin ja semanttisiin ominaisuuksiin. Tämä duaalisuus sanastollisissa esityksissä mahdollistaa sanan tunnistusprosessin, joka välittää fonologisen analyysin ja syntaktisen ja semanttisen päättelyn välillä.

Verkostojen etuna on, että niiden avulla voidaan mallintaa sanaston rakennetta makroskooppisella, mesoskooppisella ja mikroskooppisella tasolla samanaikaisesti (De Deyne ym., 2016). Makroskooppinen taso kuvaa kaikkien solmujen ja linkkien roolia verkostossa. Luonnollisissa verkostoissa makroskooppinen rakenne on yleensä selkeästi erilainen verrattuna satunnaisesti muodostettuun verkostoon. Satunnaisista verkostoista poiketen luonnollisissa verkostoissa on pieni määrä solmuja, joissa on suuri määrä linkkejä.

Mesoskooppinen tai ryhmätaso käsittelee tietyn solmujoukon ominaisuuksia verkostossa (De Deyne ym., 2016). Mesoskooppinen taso mielen sanastossa kuvaa sanojen merkityksen rakennetta. Tätä voidaan tutkia laskemalla sanojen välillä olevien suorien ja epäsuorien linkkien pituuksia. Näiden pituuksien avulla voidaan tunnistaa verkostosta tiiviimpiä ja väljempiä alueita. Tätä on sovellettu kognitiivisessa tieteessä fonologisten verkostojen rakentamiseen ja eri sanojen ymmärryksen kartoittamiseen. Esimerkiksi rakenne voi olla tällä tasolla temaattista tai taksonomista. Parin solmun tutkiminen laajemman ryhmän sijasta mesoskooppisella tasolla kuvaa myös, kuinka läheisesti nämä kaksi solmua ovat yhdistyneet ja millaisia reittejä niiden välillä on. Parien läheisyydellä on tutkittu esimerkiksi lauseiden ymmärtämistä.

Mikroskooppinen tai solmutaso verkostossa käsittelee yksittäisen solmun yhteyttä koko verkostoon (De Deyne ym., 2016). Tätä voidaan tutkia esimerkiksi solmusta lähtevien linkkien ja solmuun tulevien linkkien lukumäärällä. Tätä on käytetty mm. selittämään, miksi joidenkin sanojen prosessoiminen on tehokkaampaa kuin toisten. Verkostosta saadut suureet antavat selityksen monista sanojen sanastollisista ominaisuuksista, jotka vaikuttavat sanojen prosessointiin. Tutkimuksien perusteella konkreettisten sanojen prosessointi on paljon nopeampaa ja tarkempaa kuin abstraktien. Tämä vaikuttaa merkittävästi uusien käsitteiden oppimiseen fysiikassa, jossa useat käsitteet ovat täysin abstrakteja ja arkielämästä irrallisia.

2.3 Käsitteet ja käsitteellinen muutos

Relationaalisissa teorioissa käsitteet saavat merkityksensä niiden yhteyksistä toisiin käsitteisiin (Disessa & Sherin, 1998). Tätä käsitteiden yhteyksien verkkoa voidaan mallintaa semanttisen verkoston avulla. Semanttista verkkoa voidaan käyttää mallintamaan paikallista oppimista ja käsitteellistä muutosta. Käsitteellisessä muutoksessa semanttinen verkosto voi muuttua seuraavilla tavoilla: 1. solmuja voidaan lisätä tai poistaa, 2. linkkejä voidaan lisätä, poistaa tai muuttaa, 3. koko verkoston rakennelmaa voidaan muuttaa esimerkiksi hierarkkiseksi. Käsitteiden välillä voidaan tunnistaa kolmen tyyppisiä relaatioita: hierarkkisia relaatioita, ketjurelaatioita ja todistelinkkejä (Liu, 2004).

Käsitteisiin ja käsitteen muutokseen keskittyvän tutkimuksen eräs haaste se, että ensin on määritettävä, mitä tarkoitetaan käsitteellä. On siis määritettävä, mikä käsite on. Täytyy myös ottaa huomioon monenlaisia käsitteitä, mitä erilaisia teoreettisia prosesseja liittyy käsitteiden käyttöön ja käsitteelliseen muutokseen ja verrata oikeita tuloksia oppilaiden ajatuksista teoreettisiin prosesseihin. Käsitteen määrittelemine ei ole helppoa ja monissa tutkimuksissa sitä ei selkeästi käsitellä (Disessa & Sherin, 1998). Käsite voi olla sana, sen yhteydet muihin käsitteisiin, kategoria, idea, ajatuksia, tunteita, hierarkian ylin osa, yhdistelmä näitä kaikkia tai jotain vielä monimutkaisempaa. Esimerkiksi kvanttifyysiikan käsite voi sisältää näitä kaikkia. Yksilöillä voi olla täysin uniikki ajatus käsitteestä. Käsitteellisen muutoksen tutkimuksen täytyy määrittää, mikä käsitteellisessä muutoksessa muuttuu. Oppiminen tapahtuu kolmessa moodissa: uuden tiedon lisääminen, tiedon rakenteen muuttaminen ja uuden tiedon perusteella tiedon rakenteen uudelleenrakentaminen (Liu, 2004). Käsitteellisessä muutoksessa tapahtuu fundamentaalinen muutos käsitteverkostossa kuten Piagetin mukautumisprosessissa. Jotta muutos voi tapahtua, neljän ehdon tarvitsee täyttyä: tyytymättömyys, luettavuus, uskottavuus ja tuloksellisuus.

Käsitteellinen muutos voi olla heikkoa, jos uudet käsitteet lisätään vanhaan tietorakenteeseen, tai vahvaa, jos uusia käsitteitä käytetään tiedon rakenteen uudelleenrakentamiseen (Liu, 2004). Opiskelijoiden tulisi oppia käsitteet siten, että ne on rakennettu verkostoihin, joissa olennainen informaatio on linkitetty niihin (Glynn & Muth, 1994). Käsitteiden ei tulisi olla vain lista faktoja opiskelijoiden muistissa. Jokainen käsite tarvitsee yhteyden toisiin käsitteisiin, joiden avulla käsitteen määritelmä muodostetaan (Bagno ym., 2000). Esimerkiksi voiman käsitteen oppimiseksi tarvitaan myös massan ja kiihtyvyyden käsitteet. Nämä kolme käsitettä riippuvat toisistaan ja yhdessä ne muodostavat Newtonin toisen lain. Tämän takia on tärkeää suunnitella sopivia oppimismateriaaleja, joiden avulla opiskelijat pystyvät helpommin muodostamaan parempia tietorakenteita (Bagno ym., 2000). Opettajat tietävät tämän, mutta eivät ole

välttämättä varmoja, miten sisällyttää tämä opetukseen varsinkin, kun luokkakoot ovat suuria ja käsitteet ovat monimutkaisia.

Opiskelijoille opetetaan uusia käsitteitä ala-asteelta alkaen ja lukiotasolla heidän oletetaan hallitsevan tieteellisen lukutaidon ja ymmärtävän näitä monimutkaisia käsitteitä (Yun & Park, 2018). Jos uusi tieteellinen käsite ei yhdisty semanttiseen verkostoon, se voi jäädä vain ulkoa opituksi. Perinteisessä fysiikan opetuksessa eri fysiikan osat on erotettu toisistaan, mikä johtaa siihen, että opiskelijoiden tieto on pirstoutunutta (Bagno ym., 2000). Pirstoutunut tieto vaikeuttaa ymmärrystä ja keskeisten teemojen muistamista. Opitun tiedon organisoinnin puute aiheuttaa lyhyellä aikavälillä vaikeuksia ymmärtää käsitteitä ja ongelman ratkaisua. Opiskelijat taas pitkällä aikavälillä muistavat vain muutamia faktoja kuten kaavoja ja käsitteiden sanoja, jotka he oppivat kursseilla. Opiskelijoiden opiskellessa uutta informaatiota, he muodostavat tiedosta hierarkian, jossa he painottavat tietoa sen mukaan, kuinka tärkeänä he sitä pitävät. Myöhemmin hierarkian alemmat osat unohdetaan ja vain ”tärkeät” informaation osat muistetaan.

Mielekäs oppiminen on aktiivinen prosessi, jossa rakennetaan käsitteellisiä yhteyksiä uuden ja jo olemassa olevan tiedon välille (Glynn & Muth, 1994). Käsitteellisiä yhteyksiä on monenlaisia kuten hierarkkinen, luetteloiva ja esimerkillinen. On keskeistä, että opiskelijat oppivat mielekkäästi, jotta käsitteellinen muutos voi tapahtua (Novak, 2002). Tämä on käytännössä vaikeaa, koska pitkään opiskelleet opiskelijat eivät välttämättä ole halukkaita muuttamaan heidän oppimisstrategioitaan. Opiskelijat täytyy siis saada ymmärtämään, että heille on hyödyllistä muokata heidän käsitteitään ja hierarkioitaan. Sopivien opetusmateriaalien käyttäminen voi helpottaa tätä.

Aineen tiedon oppimisen lisäksi käsitteellinen muutos vaatii myös metakognition eli tiedon tietoisuutta ja käsitystä omasta oppimisesta (Gunstone & Mitchell, 1998; Novak, 2002). Jotta käsitteellinen muutos voi tapahtua, opiskelijan tarvitsee ymmärtää omat käsitteensä, arvioida näitä käsitteitä, päättää tarvitseeko näitä käsitteitä uudelleenrakentaa, ja mahdollisesti tutkia ja uudelleenrakentaa muita olennaisia osia heidän ymmärryksestään, jotta tiedon rakenne olisi yhtenäinen (Liu, 2004). Metakognition avulla opiskelijat voivat oppia suunnittelemaan oppimistaan, huomaamaan ja korjaamaan omia virheitään esimerkiksi epäonnistuneissa ongelmanratkaisuyrityksissä.

Fysiikan aineenopettajakoulutuksessa on tärkeää oppia fysiikan tiedon rakenteita ja oppia, miten tiedon rakenne on rakennettu (Mäntylä, 2011). Sisällön lisäksi on siis myös tärkeää tuntea, mistä tieto tulee ja miten tieto voidaan perustella. Opettajakoulutuksessa täytyy keskittyä siis myös ainesisällön lisäksi siihen, miten uudet käsitteet ja lait muodostetaan ja opitaan. Tämän avulla fysiikan aineenopettajat voivat ohjata opiskelijoita oppimaan käsitteet ja lait mielekkäästi siten, että olennaisten käsitteiden välille muodostuu yhteys. Tiedonrakenne riippuu prosesseista, jotka tuottavat tietoa.

Perinteisessä opetuksessa kuitenkin tämä jätetään usein huomioimatta ja opiskelijoiden tiedonrakenteet eivät muutu tästä syystä. Tämän takia on tärkeää käyttää metakognitiivisia työkaluja, jotka auttavat opettajaopiskelijoita uudelleenorganisomaan heidän tietoaan ja pohtimaan, miten tietoa voi muodostaa. Tähän tarkoitukseen käytetään Helsingin yliopistossa didaktisia rekonstruktioita, joissa yhdistyvät käsitekartat ja käsitekarttaa selittävät tekstit.

Käsitekarttojen tekeminen on oppimisprosessi, jota voidaan käyttää opetuksessa tukemaan käsitteellistä muutosta (Liu, 2004). Pareittain tai pienissä ryhmissä työskentely voi auttaa opiskelijoita. Lisäksi usein vanhempiin karttoihin palaaminen ja niiden muuttaminen on hyödyllistä. Vanhojen karttojen muuttaminen auttaa opiskelijoita kehittymään reflektiossa ja käsitteen ymmärryksessä. Tämä on samaa ajatusta, jota Gunstone ja Mitchell selittivät metakognitiolla. Koska opiskelijat ovat itse vastuussa kartoista, he ovat motivoituneempia oppimaan. Opiskelijat yleensä sanovat, että käsitekartat ja karttojen jatkuva muokkaaminen ovat olleet hyödyllisiä käsitteen muodostuksessa. Opiskelijoiden mukaan suurin etu käsitekarttojen teossa on se, että käsitekartat auttavat visualisoimaan, miten käsitteet liittyvät toisiinsa ja tarkentamaan ja selkeyttämään heidän ymmärrystään, kun uusia käsitteitä lisättiin vähitellen käsitekarttoihin. Käsitekarttojen avulla voidaan selvittää opiskelijoiden käsitteiden ymmärrystä ja opettaja saa paremman käsityksen opiskelijoiden tasosta. Tämän jälkeen opettajan on helpompi pyrkiä toteuttamaan opiskelijoiden tukemista Vygotskyn lähikehityksen vyöhykkeessä. Jos käsitekarttoja käytetään usein, opettaja pystyy paremmin monitorimaan opiskelijoiden käsitteellistä muutosta ja opiskelijoiden on helpompi reflektoida omaa osaamistaan, joten käsitekartat ovat hyödyllisiä sekä opettajille että opiskelijoille. Didaktiset rekonstruktiot, jotka koostuvat käsitekartasta ja käsitekarttojen solmujen selityksestä, ovat olleet käytössä Helsingin yliopiston aineenopettajakoulutuksessa. Didaktisten rekonstruktioiden tehtävänä on auttaa käsitteellistä muutosta (Mäntylä, 2011). Opiskelijoiden palaute didaktisten rekonstruktioiden käytöstä on erittäin positiivista.

Tutkimuksen mukaan tiedon hankinta ei tapahdu hetkessä (Itza-Ortiz ym., 2003). Opiskelijat saavat monen eri tason ymmärtämistä olennaisista käsitteistä, jotka ovat olemassa ja kilpailevat aikaisempien käsityksien kanssa. Opettajien tulisi auttaa opiskelijoita pohtimaan heidän aikaisempaa tietoaan ja auttaa muokkaamaan tätä tietoa tieteelliseksi tiedoksi. Kognitiotieteen mukaan ihmiset organisoivat havaintojaan malleiksi mielessään. Opettaja voi tutkia, millaisia malleja opiskelijoilla on ja tämän tiedon avulla auttaa opiskelijoita rakentamaan heidän ymmärrystään. Opiskelijoiden mielen sisäiset mallit tulisi ymmärtää heidän ymmärryksensä rajoissa, eikä virheinä verrattuna asiantuntijoiden malleihin. Noviisien harhakäsitykset voivat myös muuttua eksperttien käsityksiksi kuten harhakäsitys ”ei ole liikettä ilman voimaa” muuttuu ajatukseksi ”ei

ole kiihtyvyyttä ilman voimaa” (Disessa & Sherin, 1998). Tällaisessa käsitteellisessä muutoksessa käsitteiden relaatiot muuttuvat. Opiskelijoiden käyttämät mallit saattavat riippua kontekstista ja heillä voi olla useita erillisiä, mutta koherentteja malleja eri konteksteissa liittyen samaan käsitteeseen (Itza-Ortiz ym., 2003). Lukemalla ja kirjoittamalla tieteellisiä tekstejä opiskelijat tulevat tutuksi käsitteellisiin yhteyksiin, jotka muodostavat perustan tieteelliselle ymmärrykselle (Glynn & Muth, 1994). Tämän vuoksi kirjoitus- ja lukemisharjoitukset ovat ideaalisia kytkemään opiskelijoiden mielen käsitteellisten yhteyksien muodostamiseen. Opiskelijat, jotka oppivat konstruktivistisesti, pohtivat tieteellisiä tekstejä, joita he lukevat tai kirjoittavat, ponnistelevat niiden kanssa ja yrittävät saada ymmärrystä yhdistämällä tietoa jo heidän omaksumaansa tietoon.

3. Menetelmät

3.1 Tutkimuksen tavoitteet

Suomenkielisen tekstin analysoiminen tietokoneella on ongelmallista. Tämän vuoksi opinnäytetyössä pyritään tuottamaan analyysiprotokolla, joka on toistettava ja luotettava myös tämän opinnäytetyön ulkopuolella. Analyysiprotokollan tarkoituksena on analysoida manuaalisesti suomenkielistä tekstiä ja tuottaa lopputulos, jota voidaan analysoida tietokoneella syvemmin. Kun aineisto on analysoitu käsin, lopputulosta analysoidaan jatkossa tietokoneella, mutta tätä ei käsitellä tässä opinnäytetyössä.

Opinnäytetyössä vastataan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Miten voimme analysoida aineenopettajaopiskelijoiden sanaston käyttöä?
2. Miten fysiikan aineenopettajaopiskelijat käyttävät kaksoisrakokokeen sanastoa?

3.2 Kielellisten rakenteiden tunnistaminen

Tekstin analysoimisessa täytyy ensin päättää, mitä tekstin osia analysoidaan ja miten. Teksteistä analysoidaan lauserakenne, kontekstit, kotekstit, virkkeen tyypit, virkkeiden modalityetit, verbin transitiivisuudet ja nominit.

Teksteistä analysoidaan virkkeiden lauserakennetta. Virkkeistä tunnistetaan pää- (P) ja sivulauseet (S). Lisäksi virkkeen osat, joista puuttuu predikaatti, jolloin kyseessä ei ole kokonainen lause, analysoidaan ja niitä kutsutaan nimellä vaillinainen lause (VL). Teksteissä esiintyy myös lauseenvastikkeita (LV), joten myös nämä analysoidaan osana virkkeen lauserakennetta.

Teksteistä halutaan myös tunnistaa aiheita ja teemoja, joita virkkeet käsittelevät. Virkkeet jaetaan siis erillisiin konteksteihin (K) riippuen siitä, mitä virkkeet käsittelevät. Kontekstit määräytyvät tekstin perusteella aineistosta ja ne eivät ole valmiita, tekstistä irrallisia ja niistä ei ole kattavia valmiita listoja. Riippuen analysoitavien tekstien luonteesta voidaan kuitenkin olettaa, että joitakin konteksteja luultavasti löytyisi, kun aihe on rajattu. Esimerkiksi opinnäytetyössä analysoitavissa teksteissä on kvanttifysiikan erilaisia aiheita, koska aineenopettajaopiskelijoille on annettu tekstien aihe ja

ohje. Kontekstit nimetään ja niistä tehdään lista, jonka mukaan koko aineisto analysoidaan ja virkkeiden teemat jaotellaan. Lopulliset kontekstit ovat esitetty taulukossa 2.

Riippuen analyysistä kontekstit saattavat olla todella suuria virkkeiden kokonaisuuksia, joten kontekstit jaetaan vielä pienempiin kokonaisuuksiin koteksteihin (kt). Jokainen konteksti jaetaan pienempiin osiin koteksteihin ja jokaisessa kontekstissa on vähintään koteksti 1 (kt1). Esimerkiksi kontekstissa, joka käsittelee Youngin kaksoisrakokoetta virkkeet 1 ja 2 voisivat käsitellä kokeen suorittamista ja koejärjestelyä, jolloin virkkeet muodostaisivat kotekstin kt1. Seuraavat virkkeet 3 ja 4 taas olisivat vielä samaa kontekstia, mutta käsittelisivät Youngin kaksoisrakokokeen johtopäätöksiä, joten virkkeet muodostaisivat kotekstin kt2. Nämä kontekstit eivät ole nimettyjä kontekstien tapaan ja jokainen konteksti jaetaan niin moneen osaan kuin on tarvetta. Kotekstit eivät ole samoja, jos kyseessä on koteksti kt1 kahdessa erillisessä kontekstissa, vaikka kontekstit olisivat samassa tekstissä ja molemmat käsittelisivät samaa aihetta, kuten Youngin kaksoisrakokoetta, jos kontekstit ovat tekstissä erilliset. Kotekstit eivät kerro mitään siitä, mitä tekstissä kotekstissa käsitellään, vaan kotekstit kertovat, milloin tekstin kirjoittaja on vaihtanut aihetta esimerkiksi kokeen suorittamisesta kokeen tuloksien tulkitsemiseen.

Teksteistä halutaan myös tutkia, miten opiskelijat esittävät asian esimerkiksi, onko teksteissä johtopäätöksiä, ehdollisia rakenteita, toteamuksia, kieltosanoja. Tätä pyritään analysoimaan virkkeen modaaliteettien ja tyyppien avulla. Virkkeen tyyppi kuvaa sitä, millainen kokonaisuus yksittäinen virke on. Analyysin aikana kehitettiin seuraavat virkkeen tyypit:

Virkkeen tyyppi	lyhennelmä
Positiivinen toteamus	PT
Negatiivinen toteamus	NT
Positiivinen vahvistava	PV
Suora negaatio	SN
Ehdollinen positiivinen	EP
Ehdollinen kieltö	EK
Kontrafaktuaalinen	K
Kysymys	KS

Taulukko 1: Virkkeen tyypit

Positiivinen toteamus (PT) on opiskelijan toteamus, jossa on usein konjunktioina ”joka”, ”jotka”, ”jossa” yms., jos se sisältää enemmän kuin yhden lauseen. Virkkeen

muoto voi olla esimerkiksi "havaitaan x". Esimerkiksi "1700- ja 1800-luvuilla fyysikoilla oli kaksi kilpailevaa teoriaa valosta: hiukkas- ja aaltomalli." ja "Klassinen aalto diffraktoituu eli taipuu kohdatessaan kapea raon, jonka läpi se kulkee."

Negatiivinen toteamus (NT) on vastaava kuin positiivinen toteamus, mutta sisältää negaation. Negatiivinen toteamus sisältää usein konjunktion "joka", "jotka", "jossa" yms., jos se sisältää enemmän kuin yhden lauseen. Rakenne on esimerkiksi muotoa "ei havaita x". Esimerkiksi "Aallolla ei siis ole enää havaittavia fysikaalisia ominaisuuksia." ja "Kvanttimekaniikan hiukkanen ei ole kuten klassisen fysiikan mallin hiukkanen, jolla olisi tarkkaan määritetty paikka tai rata."

Positiivinen vahvistava (PV) tyyppin rakenne on muotoa "havaitaan x, koska y" tai "koska x, havaitaan y". Positiivisessa vahvistavassa siis jotain tehdään jonkin vuoksi tai jotain havaitaan jonkin vuoksi. Positiivinen vahvistava sisältää usein konjunktion "koska", "joten", "sillä" yms. Esimerkiksi "Young päätteli valon olevan aalto, sillä klassiset hiukkaset eivät muodosta interferenssikuvioita."

Suora negaatio (SN) on rakenteeltaan muotoa "koska ei havaita x, siitä seuraa y" tai "koska x, niin ei y". Suora negaatio on siis vastaava kuin positiivinen vahvistava, mutta sisältää negaation. Suora negaatio usein sisältää konjunktion "koska", "joten", "sillä" yms. Esimerkiksi "Koska elektronit ovat kentän kvantittuneita viritystiloja, ne [elektronit] eivät ole yksilöityviä."

Ehdollinen positiivinen (EP) on rakenteeltaan muotoa "jos x, niin tapahtuu y, siitä seuraa z". Ehdollinen positiivinen sisältää ehdon eli virkkeessä on yleensä konjunktion "jos". Esimerkiksi "Jos siis fotonit olisi klassinen hiukkanen, heikon valon yksöis- ja kaksoisrakokokeissa tulisi saada samat tulokset, sillä kummassakin kokeessa fotonit kulkisi yhdestä raosta läpi."

Ehdollinen kielto (EK) on rakenteeltaan muotoa "oletetaan x, mutta tapahtuu y, siitä seuraa z". Ehdollinen kielto on siis vastaava kuin ehdollinen positiivinen, mutta sisältää negaation. Ehdollinen kielto sisältää ehdon eli virkkeessä on yleensä konjunktion "jos". Esimerkiksi "mitä tapahtuu, jos fotonilla on enemmän energiaa, jottei se [fotoni] luovuta sitä [energiaa] kokonaan elektronille?"

Kontrafaktuaalinen (K) on rakenteeltaan muotoa "oletetaan x, mutta havaitaan y, tästä seuraa x on epätosi". Kyseessä on ehdollisen kiellon (EK) alakategoria. Esimerkiksi "Interferenssikuvioita ei synny, kun fotonit pakotetaan menemään vain toisesta, fotonit ei siis kulje vain toisesta raosta."

Kysymys (KS) on virke, joka sisältää kysymyslauseen. Esimerkiksi "Miksi havainnointi muuttaa koko kokeen lopputuloksen?"

Analyysiin päätettiin, että tyyppi kuvaa yksittäisen virkkeen rakennetta. Yksittäisessä virkkeessä voi olla esimerkiksi positiivinen toteamus (PT) ja ehdollinen positiivinen (EP), mutta päätettiin, että analyysissä tällaisissa tilanteissa, joissa virkkeessä

on jokin muu tyyppi kuin positiivinen toteamus (PT) tai negatiivinen toteamus (NT), virkkeen ainut tyyppi on se jokin toinen tyyppi esim. ehdollinen positiivinen (EP). Tämä selkeyttää analyysiä, kun yksittäisessä virkkeessä on vain yksi tyyppi. Ainoa poikkeus tähän sääntöön on, jos virkkeessä on sekä positiivisia että negatiivisia toteamuksia, virkkeen tyypeihin merkitään sekä positiivinen toteamus (PT) että negatiivinen toteamus (NT).

Virkkeiden rakenteesta kertoo myös modaliteetti. Modaliteetti tässä opinnäyte työssä ei ole täysin sama kuin kieliopin määritelmä modaliteetille. Virkkeen modaliteetti on yksi seuraavista: toteamus (T), johtopäätös (J) tai kysymys (K). Modaliteetti on osaksi päällekkäinen virkkeen tyyppien kanssa. Kaikki virkkeet, joissa on kysymyslause, ovat modaliteetiltaan kysymyksiä (K). Esim. ”Onko ftoni todella hiukkanen, minikokoinen biljardi- tai pingispallo?” Kaikki virkkeet, jotka ovat tyypiltään kysymyksiä (KS), ovat siis modaliteetiltaan myös kysymyksiä (K). Virkkeet ovat johtopäätöksiä, jos virkkeestä ilmenee opiskelijan tekemä johtopäätös. Virke voi sisältää siis esim. ”Joten”, ”siis”, ”koe osoitti”, ”osoittavat”, ”koska”, ”tämän takia”, ”näin”, ”mikä on osoitus”, ”siten” yms. Johtopäätöksiä ei siis ole esim. historiallisen henkilön tekemä johtopäätös, jonka opiskelija kertoo. Johtopäätöksen määrittely ei ole yksikäsitteistä ja johtopäätöksen määrittämiseen vaaditaan analyysin tekijän tulkitsemista. Esimerkki virkkeestä, jonka modaliteetti on johtopäätös: ”Koska mitään muuta ei [ole] läsnä, ainoa vaihtoehto on, että ftoni interferoi itsensä kanssa.” Kaikki muut virkkeet eli virkkeet, jotka eivät ole kysymyksiä tai johtopäätöksiä, ovat toteamuksia (T). Esim. ”Interferenssikuvioita ei tällöin välittömästi havaita, vaan [havaitaan] vain yksittäisiä osumakohtia.” Toteamus (T) modaliteetti on siis päällekkäinen tyyppien positiivinen toteamus (PT) ja negatiivinen toteamus (NT), mutta virkkeet, joiden modaliteetti on toteamus (T), sisältävät myös muita virkeitä näiden kahden tyyppin ulkopuolelta.

3.3 Aineisto

Opinnäytetyössä käytetty aineisto koostuu fysiikan aineenopettajaopiskelijoiden tekemistä töistä Helsingin yliopiston kurssilla. Aineisto on kerätty vuosina 2016 ja 2017 järjestettyjen kurssien opiskelijoiden tekemistä teksteistä. Opiskelijat tekivät kurssilla neljä didaktista rekonstruktioa kvanttifysiikan opettamiseen liittyen. Didaktiset rekonstruktiot koostuvat opiskelijoiden tekemistä käsitekartoista ja käsitekarttojen solmujen selityksistä. Opinnäytetyössä keskitytään vain opiskelijoiden selityksiin ja itse käsitekartan rakenne jätetään kokonaan huomioimatta. Näistä didaktisista rekonstruktioista analysoidaan vain kaksi viimeistä, jotka käsittelevät kaksoisrakokoetta fotoneilla ja elektroneilla. Tekstit ovat suomenkielisiä ja yksittäisten selittävien tekstien pituus on n. 1,5 sivua.

Tässä opinnäytetyössä analysoidaan kuuden opiskelijan tekstit kahdesta eri tehtävästä eli yhteensä 12 tekstiä. Analyysiin valittiin niiden opiskelijoiden tekstit, jotka olivat sanastoiltaan rikkaimmat ja siksi analyysiprotokollan kehittämisen kannalta kiinnostavimmat.

3.4 Analyysimenetelmät

Analyysin aluksi teksteistä poistettiin opiskelijoiden tekemät kappalejaot. Tekstistä muodostettiin vain yksi jatkuva kappale. Tämä tehtiin sen vuoksi, että opiskelijoiden kappalejaot eivät vaikuttaisi analyysiin. Tämän jälkeen tekstin virkkeet erotettiin siten, että jokainen virke oli omalla rivillään. Pisteiden lisäksi virkkeet jaettiin myös puolipisteen ja kaksoispisteen kohdalta, koska nämä yleensä jakoivat tekstin samalla tavalla kuin piste. Poikkeuksina tähän olivat virkkeet, jonka jälkeen esiteltiin kaava, joka ei itsessään ollut kokonainen virke, joten tämänkaltaiset kokonaisuudet pidettiin yhtenä virkkeenä.

Virkkeiden jaottelun jälkeen teksti kopioitiin taulukkolaskentaohjelmaan, jossa jokainen virke asettui ensimmäisessä sarakkeessa omaan soluunsa. Solujen sisällä jokainen lause jaettiin vielä omalle rivillensä ALT + ctrl avulla. Seuraavaksi alettiin määrittää tekstin konteksteja (K) eli suurempia asiayhteyksiä, joihin virkkeet kuuluivat. Kontekstit ovat nimettyjä ja tarkkaan rajattuja kokonaisuuksia. Koska aineistoa oli tutkittu jo aikaisemmin, lähes valmis lista konteksteista oli valmiina. Lista kuitenkin muuttui hieman analyysin aikana. Yleisesti tällä analyysiprotokollalla tekstit määrittävät kontekstit ja kontekstit muodostuvat analyysin aikana. Lista analyysistä syntyneistä konteksteista on taulukossa 2. Jokaiselle riville merkittiin virkkeen konteksti ja kontekstien rajat merkittiin taulukkoon paksuilla viivoilla.

Kontekstit	
K1	tausta: klassinen fysiikka
K1.1	valon ja elektronin malleja
K1.2	Youngin kaksoisrakokoe, elektronidiffraktio
K1.3	muu ilmiöön liittyvä tausta ja aikaisemmat didaktiset rekonstruktiot
K2	kaksoisrakokoe (yksittäinen elektroni, fotonit tai muu hiukkanen)
K3	toinen rako suljettu tai ilmaisin toisessa raossa
(K4)	molemmat raot auki
K5	yksittäiset osumat varjostimella -interferenssikuvion muodostuminen pisteittäin
K6	yksittäisten osumien teoreettinen tulkinta kvalitatiivisesti -hiukkasen olemassa olo, yksilöityvyys, havaitseminen vuorovaikutustilanteessa, rata
K7	selitys, mitä tapahtuu raossa
K8	fotonin paikallistuminen varjostimelle -hiukkanen osuu varjostimeen, paikallistuminen varjostimella
K9	teoria (Heisenberg jne.)
K10	todennäköisyystulkinta, aaltofunktio
K11	aalto-hiukkasdualismi
K12	kvanttikenttätulkinta
K13	ylimääräiset

Taulukko 2: Lista konteksteista

Konteksteja jaettiin tämän jälkeen vielä pienempiin kokonaisuuksiin eli konteksteihin. Kontekstit ovat pienempiä asiayhteyksiä kontekstien sisällä, joita ei ole nimetty tai tarkasti määritelty. Jokaisessa kontekstissa on siis aina ensimmäisenä konteksti 1 (kt1) ja tarvittaessa lisää konteksteja. Nämä kt1 kontekstit, jotka ovat jokaisessa kontekstissa, eivät ole siis samoja kuin toisessa erillisessä kontekstissa, vaikka molemmissa olisi kuitenkin sama konteksti. Esimerkiksi tilanteessa, jossa tekstissä on aluksi 15 virkettä, joista viisi ensimmäistä kuuluu kontekstiin K2, viisi keskimmäistä kuuluu kontekstiin K3 ja viisi viimeistä kuuluu kontekstiin K2. Tässä tilanteessa jokaisessa näissä konteksteissa on vähintään konteksti kt1, mutta nämä kontekstit kt1 eivät ole samat edes kontekstien K2 välillä, koska kontekstit K2 ovat irrallisia toisistaan.

Tämän jälkeen tutkittiin virkkeiden lauseet. Jokaisen virkkeen päälauseet (P), sivulauseet (S), lauseenvastikkeet (LV) ja vaillinaiset lauseet (VL) merkittiin. Vaillinaisia lauseita ovat lauseet, joista puuttuu predikaatti, jolloin kyseessä ei ole kokonainen lause. Nämä kuitenkin analysoitiin osana lauserakennetta, koska niitä oli osana

tekstejä. Analyysiprotokollassa soluihin merkittyjen tuloksien järjestyksellä ei ole merkitystä, mutta päätettiin, että aina ensimmäisenä alkava lause merkittiin ensin esimerkiksi tilanteissa, joissa sivulause on päälauseen välissä. Lisäksi analyysissä ei ole eroa, jos sivulauseeseen on rinnastettu tai alistettu lause. Esimerkiksi tilanteessa, jossa on päälause, sivulause ja rinnastettu lause, ja tilanteessa, jossa on päälause, sivulause ja alistettu lause, molemmissa virkkeen rakenteen tuloksena on P S S.

Seuraavaksi tutkittiin virkkeen tyyppi, joka kuvaa virkkeen rakennetta. Virkkeiden tyyppeinä voivat olla positiivinen toteamus (PT), negatiivinen toteamus (NT), positiivinen vahvistava (PV), suora negatio (SN), ehdollinen positiivinen (EP), ehdollinen kielto (EK), kontrafaktuaalinen (K) ja kysymys (KS). Virkkeellä on yleisesti vain yksi tyyppi, mutta joissakin virkkeissä, joissa on selkeästi sekä positiivinen ja negatiivinen toteamus, molemmat sisällytettiin analyysiin. Muissa tyypeissä on vain yksi tyyppi virkkeessä.

Virkkeen modaliteetti tutkittiin seuraavaksi. Modaliteetilla ei tarkoiteta täysin samaa asiaa kuin kielioopin modaliteetin määritelmällä. Virkkeet rajattiin kolmeen eri modaliteettiin: 1. toteamuksiin (T), 2. kysymyksiin (K) ja 3. johtopäätöksiin (J). Virkkeen modaliteetti oli kysymys, jos kyseessä oli kysymys. Virkkeen modaliteetti oli johtopäätös, jos virke sisälsi esimerkiksi: joten, siis, koe osoitti, osoittavat, koska tämän takia, näin, mikä on osoitus, siten yms. Tämä ei ole kuitenkaan kattava lista ja kyseessä ei ole yksikäsitteistä jaottelu, joten analyysin tekijä saattaa vaikuttaa tältä osalta tuloksiin. Kaikki muut virkkeet olivat modaliteetiltaan toteamuksia.

Seuraavaksi tutkittiin lauseiden predikaattien transitiivisuus. Intransitiiviverbeillä (i) ei ole objektia ja transitiiviverbeillä (t) on objekti. Lauseenvastikkeissa verbi ei ole predikaattimuodossa, mutta verbit analysoitiin siinä muodossa, kuin ne olisivat predikaatteja sivulauseessa, jota lauseenvastikkeet vastaavat, jolloin voitiin tutkia, onko kyseisillä verbeillä objekti. Esimerkiksi virke ”Young päätteli valon olevan aalto, sillä klassiset hiukkaset eivät muodosta interferenssikuvioita.”. Tämä virke analysoitiin kuten se olisi ollut: ”Young päätteli, että valo on aalto, sillä klassiset hiukkaset eivät muodosta interferenssikuvioita.” Joistakin lauseista puuttuu predikaatti, mutta lauseen rakenne oli sellainen, että sen pystyi päättelemään yksiselitteisesti. Näissä tapauksissa predikaatti lisättiin lauseeseen hakasulkeissa ja predikaatti analysoitiin esim. ”mitä heikompi intensiteetti [on], sitä vähemmän valolla on energiaa ja sitä vähemmän siis siirtyy fotoneja aikayksikössä.”

Viimeisenä tutkittiin virkkeiden nominit. Ensin lauseisiin lisättiin hakasulkeiden sisään nominit, joita pronominit kuvasivat. Esimerkiksi tilanteessa, jossa lauseessa on ”se”, joka viittaa ftoniin, lauseeseen lisättiin [ftoni]. Nominien analyysissä sekä pronomini että nomini, johon pronomini viittasi, analysoitiin ja analyysissä tätä merkittiin kauttaviivalla, esimerkiksi se=p8, ftoni=s25, joten merkittäisiin p8/s25. Teksteis-

sä esiintyvistä nomineista muodostettiin lista ja nomineille annettiin koodi. Nominin jaettiin käsitteisiin, adjektiiveihin, numeraaleihin ja pronomineihin. Käsitteitä merkittiin s-kirjaimella ja numerolla, kuten ”klassinen fysiikka” s41, adjektiiveja a-kirjaimella ja numerolla, kuten ”kapea” a2, numeraaleja n-kirjaimella ja numeroilla, kuten ”1700” n1 ja pronomineja p-kirjaimella ja numerolla, kuten ”joka” p2. Jotkut nominin yhdistettiin samaan koodiin, jos ne merkitsivät analyysin kannalta samaa asiaa, kuten s78 ”laite”, ”vehje”, ”laitteisto”, ”mittauslaitteisto”. Lisäksi joihinkin koodeihin muodostettiin alakodeja, jotka olivat erillisiä, mutta läheisesti liittyviä kuten s25 ”fotoni”, s25.1 ”valohiukkanen”, ”valon hiukkanen”, ”valokvantti”. Jokaisen virkkeen nominin merkittiin ylös ja jos jokin nomini esiintyi monta kertaa samassa virkkeessä, se merkittiin niin monta kertaa kuin se esiintyi. Jälleen tuloksessa ei ole merkitystä järjestyksellä, mutta käsitteet merkittiin selkeyden vuoksi esiintymisjärjestyksessä. Valmis lista nomineista on liiteosassa listassa 1.

Kun tämä analyysi oli tehty kaikille 12 tekstille, voitiin yhdistää tulokset ja tutkia koko aineiston dataa. Muodostettiin uusi taulukko, johon merkittiin analysoidut muuttujat. Jokainen konteksti ja konteksteissa olevien virkkeiden lukumäärä merkittiin. Lisäksi kotekstien lukumäärät, tyypit, modaliteetit ja verbien transitiivisuus taulukoitiin.

Käsitteiden suuren määrän vuoksi niille tehtiin oma erillinen taulukko, johon merkittiin jokainen käsitteen esiintyminen jokaisessa selittävässä tekstissä. Solut järjestettiin uudestaan esiintymislukumäärän mukaiseen järjestykseen, koska itse koodijärjestys perustuu vain siihen, missä järjestyksessä teksti on analysoitu. Kaikkien käsitteiden frekvenssitaulukot ovat liiteosassa taulukoissa 12, 13, 14 ja 15.

Tuloksissa on eniten esiintyvien nominien taulukot 6, 7, 8 ja 9. Muiden tutkittavien muuttujien taulukot ovat tuloksissa: virkkeiden jakautuminen konteksteihin ja kotekstien lukumäärä taulukko 3, lauserakenteen taulukko taulukko 4, tyypit, modaliteetit ja verbin transitiivisuus taulukko taulukko 5.

4. Tulokset

Analyysin tulokset on esitetty monissa eri taulukoissa, joista osa on liiteosassa. Virkkeiden konteksteihin ja koteksteihin jakautumisen tulokset ovat taulukossa 3. Lauserakenteen tulokset ovat taulukossa 4. Tyyppien, modaliteettien ja verbin transitiivisuuden tulokset ovat taulukossa 5. Nominien tuloksia on sekä tuloksissa että liiteosassa. Yleisimpien nominien taulukot ovat tuloksissa: yleisimmät adjektiivit taulukko 7, yleisimmät käsitteet taulukko 6, yleisimmät numeraalit taulukko 8 ja yleisimmät pronominit taulukko 9. Kaikkien nominien taulukot ovat liiteosassa taulukoissa: taulukko 10 numeraalit, taulukko 11 pronominit, taulukko 12 käsitteet ja taulukko 16 adjektiivit.

	K1	K1.1	K1.2	K1.3	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	Virke lkm	koteksti lkm
16dr3	3	4	4	0	3	1	0	2	6	2	2	0	11	4	2	3	47	28
16dr4	0	4	0	3	5	0	0	6	2	0	0	0	8	6	14	1	49	23
27dr3	11	0	16	3	6	4	0	3	8	3	2	0	12	8	3	0	79	40
27dr4	0	0	0	16	4	0	0	4	7	4	2	0	18	14	7	6	82	46
31dr3	1	5	9	4	5	1	0	1	1	2	0	0	1	6	1	5	42	29
31dr4	0	3	0	0	7	3	0	3	4	1	0	6	1	2	11	5	46	29
34dr3	8	3	1	30	3	3	0	1	0	1	0	0	2	1	0	0	53	27
34dr4	5	2	2	1	3	2	0	1	2	1	1	0	1	1	7	1	30	21
41dr3	0	0	0	0	4	3	0	4	6	0	0	0	3	4	0	0	24	20
41dr4	0	0	0	0	2	0	0	2	6	1	0	2	1	6	5	0	25	23
46dr3	1	2	4	5	2	2	0	1	1	0	0	0	4	12	1	0	35	25
46dr4	1	0	0	0	5	2	0	2	1	0	1	0	3	7	6	0	28	19
Summat	30	23	36	62	49	21	0	30	44	15	8	8	65	71	57	21	540	330

Taulukko 3: Taulukko virkkeiden jakautumisesta konteksteihin ja kotekstien lukumäärä

Taulukossa 3 on riveillä eri analysoidut tekstit, joissa ensimmäiset kaksi numeroa merkitsevät tekstin kirjoittajaa ja dr3 tarkoittaa didaktista rekonstruktiota kolme, jonka aiheena on aalto-hiukkasdualismi: valon hiukkasluonne ja dr4 tarkoittaa didaktista rekonstruktiota neljä, jonka aiheena on aalto-hiukkasdualismi: elektronien aaltoluonne. Sarakkeilla on jokainen konteksti sekä virkkeiden ja kotekstien summat. Jokaisella rivillä on yksittäisen tekstin tulokset ja alimmaisella rivillä, joka on korostettu keltaisella,

on kaikkien tekstien tulosten yhteissumma. Analysoiduissa 12:ssa tekstissä oli yhteensä 540 virkettä, jotka jakautuivat 15 kontekstiin. Konteksti K4 päätyi turhaksi kontekstiksi. Konteksti K4 oli alunperin otettu mukaan analyysiin, mutta analyysin aikana se todettiin päällekkäiseksi muiden kontekstien kanssa. Sitä ei kuitenkaan poistettu, koska muuten kaikki konteksteihin liittyvät tulokset olisi pitänyt kirjoittaa uudestaan. Yleisimmäksi kontekstiksi muodostui K11 aalto-hiukkasdualismi yhteensä 71:llä virkkeellä. Taustaa käsittelevissä konteksteissa K1 klassinen fysiikka, K1.1 valon ja elektronin malleja, K1.2 Youngin kaksoisrakokoe, elektronidiffraktio ja K1.3 muu tausta ja aikaisemmat didaktiset rekonstruktioit oli yhteensä 151 virkettä. Tekstissä 34dr3 oli 30 virkettä kontekstissa K1.3 eli n. 48 % K1.3 kaikista virkkeistä oli tästä tekstistä. Myös 34dr3 54:stä virkkeestä siis n. 56 % oli vain kontekstia K1.3. Vastaavasti suuri osa kontekstista K1 ja K1.2 on 27dr3 tekstistä. Myös opiskelijan 27 teksteissä 27dr3 ja 27dr4 on 30 virkettä kontekstissa k10, jossa on yhteensä 65 virkettä. Koteksteja oli yhteensä teksteissä 330 kappaletta, eli keskimäärin koteksteissa oli n. 1,6 virkettä, kun virkeitä oli yhteensä 540.

	P	S	LV	VL	Lause lkm
16dr3	56	33	13	1	103
16dr4	58	23	9	0	90
27dr3	92	60	18	7	177
27dr4	100	48	18	1	167
31dr3	50	25	10	0	85
31dr4	58	18	9	0	85
34dr3	59	27	12	2	100
34dr4	37	19	5	0	61
41dr3	32	22	11	0	65
41dr4	35	18	12	0	65
46dr3	45	19	13	1	78
46dr4	32	15	5	0	52
Summat	654	327	135	12	1128

Taulukko 4: Taulukko lauseiden lukumääristä

Taulukossa 4 on esitetty lauserakenteen tulokset. Lauseita oli yhteensä 1128 kpl. Päälauseita oli 654 kpl, sivulauseita 327 kpl, lauseenvastikkeita 135 kpl ja vaillinaisia lauseita 12 kpl.

	PT	NT	PV	SN	EP	EK	K	KS	Tyyppi lkm	T	K	J	i	t	
16dr3	24	6	8	5	3	1	0	0		47	32	0	15	65	36
16dr4	37	5	4	1	1	0	0	1		49	28	1	20	59	32
27dr3	45	4	14	10	3	1	0	2		79	59	2	18	83	83
27dr4	58	3	15	4	1	0	0	1		82	67	1	14	78	88
31dr3	24	2	4	1	2	1	1	8		43	28	8	6	52	33
31dr4	30	7	5	3	0	2	1	1		49	39	1	6	52	32
34dr3	33	3	8	2	0	3	4	0		53	43	1	9	59	39
34dr4	17	2	5	2	3	0	1	0		30	22	0	8	43	18
41dr3	12	1	4	3	2	1	1	0		24	15	0	9	34	31
41dr4	20	4	2	0	0	1	0	0		27	20	0	5	27	38
46dr3	26	5	3	0	0	3	0	0		37	34	0	1	46	31
46dr4	19	3	5	2	0	1	0	0		30	28	0	0	36	16
Summat	345	45	77	33	15	14	8	13		550	415	14	111	634	477

Taulukko 5: Taulukko tyyppien, modaliteettien ja verbien transitiivisuuden tuloksista

Taulukossa 5 on esitetty samassa taulukossa virkkeiden tyyppien, modaliteettien ja verbien transitiivisuuden tulokset. Tyyppejä oli yhteensä 550 eli 10 kappaletta enemmän kuin virkkeiden lukumäärä. Tämä johtuu virkkeistä, joissa oli selkeästi sekä positiivinen että negatiivinen toteamus. Teksteissä yleisin tyyppi oli positiivinen toteamus (PT), joita oli tekstissä n. 63 % kaikista tyypeistä. Yleisin modaliteetti oli toteamus (T), joita oli teksteissä yhteensä 415 kpl eli n. 77 % kaikista modaliteeteista. Johtopäätöksiä (J) oli yhteensä 111 kpl eli n. 21 % ja kysymyksiä (K) oli yhteensä 14 kpl eli n. 3 %. Predikaattiverbeistä 634 kpl eli n. 57 % oli intransitiiviverbejä eli objektittomia ja 477 kpl eli n. 43 % transitiiviverbejä eli objektillisia.

käsite	koodi	f	käsite	koodi	f
1. fotoni	s25	210	32. tulkinta, tulkintamalli	s208	18
2. elektroni	s71	161	33. kaksoisrako	s34	17
3. valo	s4	132	34. kerta	s35	17
4. interferenssikuvio	s16	93	35. säteily	s119	17
5. hiukkanen	s30	90	36. kohta	s15	16
6. rako	s12	83	37. havainto	s26	16
7. kaksoisrakokoe	s11	60	38. todennäköisyys aalto	s60	16
8. koe	s40	56	39. paikka	s136	16
9. aalto	s18	54	40. liikemäärä	s149	16
10. hiukkasluonne	s32	43	41. kamera	s294	16
11. aaltofunktio, aaltoyhtälö	s59	39	42. Youngin kaksoisrakokoe	s31	15
12. kenttä	s80	39	43. apu	s63	15
13. malli	s28	36	44. aallonpituus	s117	15
14. aaltoluonne	s33	36	45. esimerkki	s81	14
15. intensiteetti	s20	33	46. tapa	s43	13
16. aalto-ominaisuus, aaltomainen ominaisuus	s65	31	47. aine, materia	s73	13
17. varjostin	s37	30	48. tilanne	s241	13
18. interferenssi	s58	30	49. tulos, tapahtuma, mittaustulos	s44	12
19. olio, perusolio, oliotyyppi	s87	29	50. kvantti	s82	12
20. energia	s21	28	51. kuvio	s133	12
21. osumakohta, saapumispaikka	s15.1	25	52. hiukkasmalli	s5	11
22. todennäköisyys	s54	24	53. elektronisuihku	s75	11
23. osuma	s55	24	54. piste	s83	11
24. todennäköisyys-jakauma	s56.1	24	55. vuorovaikutus	s85	11
25. klassinen fysiikka	s41	22	56. Rueckner ja Titcomb	s125	11
26. hiukkasominaisuus, hiukkasmainen ominaisuus	s68	22	57. opetus	s200	11
27. ominaisuus	s70	21	58. puoli	s13	10
28. aaltoliike	s8	19	59. aika, reaaliaika	s39	10
29. klassinen hiukkanen, klassinen hitunen	s19	19	60. lasersäde, laservalo, helium-neonlaser, laser	s98	10
30. vuorovaikutus-tapahtuma, vuorovaikutustilanne	s49	19	61. osoitus	s268	10
31. ilmiö	s169	19			

Taulukko 6: Frekvenssitaulukko käsitteistä (s), jotka esiintyvät teksteissä yli kymmenen kertaa

Tekstissä esiintyi suuri määrä eri nomineita, joiden listat ovat liiteosassa listassa 1. Taulukossa 6 on esitetty käsitteet (s), jotka esiintyvät yli kymmenen kertaa teksteissä. Liiteosassa on taulukot 12, 13, 14 ja 15, jotka ovat taulukot kaikista esiintyneistä käsitteistä. Yleisin käsite oli ”fotoni” s25, joka esiintyi yhteensä 210 kertaa teksteissä.

	adjektiivi	koodi	f
1.	yksittäinen	a14	47
2.	heikko, himmeä	a8	27
3.	tietty	a16	27
4.	klassinen	a10	15
5.	duaalinen	a29	14
6.	eri	a28	13
7.	pieni, minikokoinen, pikkuinen	a35	12
8.	satunnainen	a15	9
9.	paikallinen, lokaali	a31	8
10.	fysikaalinen	a33	8

Taulukko 7: Frekvenssitaulukko adjektiiveista (a), jotka esiintyvät teksteissä yli kahdeksan kertaa

Taulukossa 7 on esitetty adjektiivit (a), jotka esiintyvät yli kahdeksan kertaa teksteissä. Liiteosassa on taulukot 16 ja 17, jotka ovat taulukot kaikista esiintyneistä adjektiiveista. Yleisin adjektiivi oli ”yksittäinen”, joka esiintyi 47 kertaa teksteissä. Vain seitsemän adjektiivia esiintyi useammin kuin kymmenen kertaa, kun käsitteistä 61 esiintyi useammin kuin kymmenen kertaa. Käsitteistä n. 31 % esiintyi vain kerran ja adjektiiveista n. 39 % esiintyi vain kerran.

	numero	koodi	f
1.	yksi	n4	27
2.	kaksi	n3	25
3.	1800	n2	2
4.	nolla	n5	2
5.	0,1	n6	2

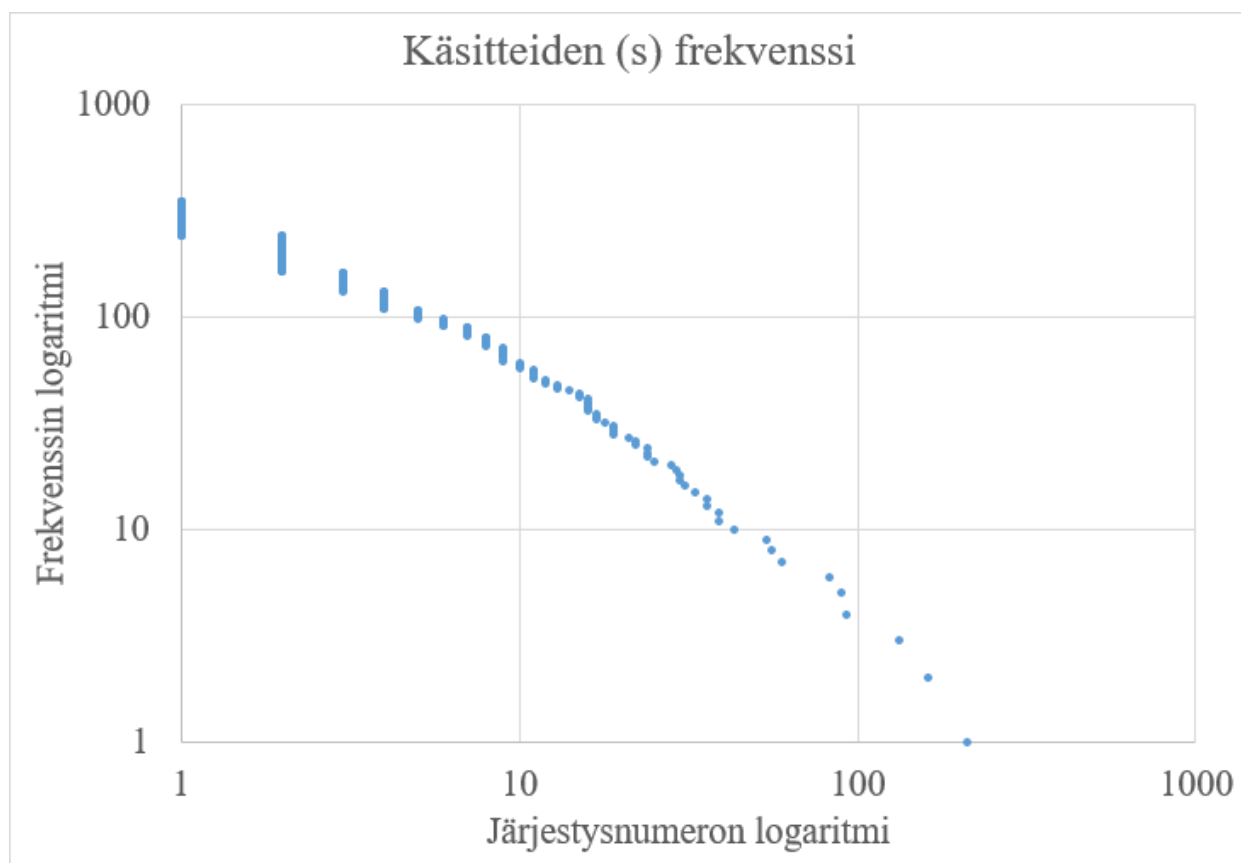
Taulukko 8: Frekvenssitaulukko numeraaleista (n), jotka esiintyvät teksteissä yli kaksi kertaa

Taulukossa 8 on esitetty numeraalit (n), jotka esiintyvät yli kaksi kertaa teksteissä. Liiteosassa on taulukko 10, joka on taulukko kaikista esiintyneistä numeraaleista. Yleisin numeraali oli ”yksi”, joka esiintyi 27 kertaa teksteissä.

	pronomini	koodi	f
1.	joka	p2	117
2.	se	p8	83
3.	toinen	p3	44
4.	tämä	p4	33
5.	mikä	p9	33
6.	sama	p7	20
7.	kumpikin	p5	16
8.	muu	p13	15
9.	kaikki	p15	14
10.	ne	p6	12
11.	itse	p12	11
12.	molemmat	p20	10

Taulukko 9: Frekvenssitaulukko pronomineista (p), jotka esiintyivät tekstissä yli kymmenen kertaa

Taulukossa 9 on esitetty pronominit (p), jotka esiintyivät yli kymmenen kertaa teksteissä. Liiteosassa on taulukko 11, joka on taulukko kaikista esiintyneistä pronomineista. Yleisin pronomini oli ”joka”, joka esiintyi 117 kertaa.



Kuvaaja 1: Käsitteiden (s) logaritminen frekvenssikuvaaja alkaen suurimmasta frekvenssistä, jossa x-akselilla on käsitteiden järjestysnumero ja y-akselilla on frekvenssi.

Kuvaajassa 1 on käsitteiden frekvenssikuvaaja alkaen suurimmasta frekvenssistä. Kuvaajassa siis ei ole mukana kaikkia nomineita, vaan pelkästään käsitteet. Akselit ovat 10 kantaisena logaritminä. Kaikkien tekstissä esiintyvien käsitteiden taulukot 12, 13, 14 ja 15 ovat liiteosassa.

5. Tulosten tarkastelu

Opettajaopiskelijat käsittelivät taustaa huomattavan paljon. Tämä on mielekkäästi opimisen kannalta hyödyllistä, koska opiskelijat ovat yhdistäneet kvanttifysiikan tiedon heidän aikaisempaan klassisen fysiikan tietoonsa (Novak, 2002). Kun aineenopettajaopiskelijat tuntevat klassisen fysiikan perusteellisesti, he voivat rakentaa sen päälle kvanttifysiikan tietonsa, jolloin heille muodostuu yhtenäinen tietorakenne ja he voivat soveltaa tietoa eri konteksteissa. Lukiossa opiskelijoille, joille tulevat fysiikan aineenopettajat tulevat opettamaan kvanttifysiikkaa, kvanttifysiikan opettaminen siten, että he voivat oppia kvanttifysiikan mielekkäästi, on tärkeää. Tällöin kvanttifysiikka ei jää irralliseksi ja opiskelijoille ei jää huono kyky soveltaa oppimaansa tietoa uusiin konteksteihin.

Yksittäiset tekstit ja yksittäisen henkilön tekstit muodostavat suuren osan joidenkin kontekstien virkkeistä. Täytyy kuitenkin ottaa huomioon, että esim. opiskelijan 27 tekstit, jotka sisälsivät suuren osan joidenkin kontekstien virkkeistä, olivat huomattavasti muiden tekstejä pidempiä. Joten on loogista, että opiskelijan 27 tekstit vaikuttivat konteksteihin eniten. Jos analysoitaisiin lisää tekstejä, yksittäisten tekstien merkitys vähenisi ja kontekstien virkemäärästä voisi päätellä enemmän, koska nykyisessä tilanteessa useiden kontekstien virkemäärät määräytyvät suuresti yksittäisten henkilöiden teksteistä, yleisiä päätelmiä yksittäisten opiskelijoiden tekstien ulkopuolella on vaikea muodostaa.

Kotekstien suuren lukumäärän perusteella opiskelijoiden tekstit vaihtavat aihetta melkein joka virkkeessä. Koteksit ovat vain kontekstien pienempiä nimeämättömiä osia ja emme voi saada niistä muuta tietoa, kuin milloin opiskelijat vaihtavat aihetta teksteissään. Aiheen usein vaihtuminen antaa aineenopettajien teksteistä listan kaltaisen kuvan, joka varmistuu myös analyysin muiden osien perusteella.

Lauserakenne teksteissä analyysin perusteella sisälsi kaksin kertaisen määrän päälauseita verrattuna sivulauseisiin. Aineenopettajaopiskelijat siis eivät kirjoittaneet teolliselle tekstille tyypillisiä pitkiä ja monimutkaisia virkkeitä (Fang, 2006). Opiskelijoiden teksteissä lauseenvastikkeet olivat suhteellisen yleisiä ja lauseenvastikkeet saattavat tehdä tekstistä epäselvempää verrattuna tekstiin, jossa on vain pää- ja sivulauseita. Lauseenrakenteen tulokset päälauseiden suuresta määrästä tukee kotekstien tulosta,

että analysoidut tekstit ovat listan kaltaisia.

Teksteissä negatiivisia tyyppejä oli huomattavasti vähemmän kuin positiivisia. Tekstit olivat täynnä toteamuksia ja sisälsivät vain vähän monimutkaisempia rakenteita ja kysymyksiä. Tekstit olivat siis kokonaisuudessaan lähes kuin lista toteamuksia. Kotekstien suuri lukumäärä yhdessä päälauseiden lukumäärän ja toteamuksien suuren määrän kanssa tekee teksteistä listan kaltaisia, joissa on peräkkäin lyhyitä toteamuskäyntejä ja joissa aihe vaihtuu usein. Tekstit olivat kuitenkin vain osa aineenopettajakurssia ja ne eivät ole suoraan, miten aineenopettajaopiskelijat opettaisivat aiheen koulussa. Joten tekstien muoto, joka on lista faktoja, on ollut opiskelijoille helppo tapa suorittaa annettu tehtävänanto. Tämän vuoksi ei voida tietää tekstien perustella, miten aineenopettajaopiskelijat oikeasti opettaisivat asian koulussa.

Tulokset verbien transitiivisuudesta ja intransitiivisuudesta tukevat myös mallitehtävien tuloksia. Intransitiiviverbejä oli merkittävästi enemmän kuin transitiiviverbejä. Positiivisissa toteamuksissa, joita oli n. 63 % kaikista virkkeistä, on usein juuri olla-intransitiiviverbi. Tämä on ainakin osa syytä, miksi intransitiiviverbejä oli tekstissä enemmän kuin transitiiviverbejä. Itse verbejä ei analysoitu niiden transitiivisuuden lisäksi, joten niitä on mahdoton tulkita.

Opiskelijat käyttivät suhteellisen laajaa sanastoa, joka on merkki siitä, että opiskelijat hallitsevat aiheeseen liittyvän tieteellisen kielen ja osaavat kuvailla olennaisia aalto-hiukkasdualismin ilmiöitä (Fang & Wei, 2010). Suuri sanasto on tieteen osaamisen perusta, jonka avulla aineenopettajaopiskelijat tulevat jatkossa opettamaan. Suuri sanasto kuitenkin ei varmista, että aineenopettajaopiskelijat osaavat opettaa aiheen tehokkaasti opiskelijoille. Opiskelijoille täytyy opettaa aihe, aiheeseen liittyvä sanasto ja kieli ohjatusti, jolloin opiskelijat voivat sisäistää uuden tiedon ja sanaston ja samalla yhdistää tiedon heidän aikaisempaan tietoonsa (Yun & Park, 2018). Opiskelijoille ei ole järkevää opettaa liian isoa sanamäärää, jota opiskelijat eivät pysty kokonaisuudessa yhdistämään heidän tietorakenteisiinsa. Liian suuren sanamäärän käyttö saattaakin viitata opettajan oman tieteen osaamisen rajoihin, kun opettaja ei osaa opettaa aihetta opiskelijoille sopivalla tasolla (Yager, 1983). Analysoidut tekstit eivät olleet kuitenkaan suoraan tarkoitettu kvanttifysiikkaa uutena opiskeleville, vaan aineenopettajaopiskelijoille itselleen aiheen tiedon uudelleenrakentamiseen (Mäntylä & Nousiainen, 2014). Näin ollen aineenopettajaopiskelijoiden käyttämästä sanamäärästä ei voida vetää johtopäätöksiä siitä, miten aineenopettajaopiskelijat oikeasti käyttäisivät sanastoa osana opetustaan.

Keskeisimpinä käsitteinä ovat luonnollisesti fotonit ja elektronit, koska tekstien aiheet olivat juuri aalto-hiukkasdualismi: valonhiukkasluonne eli fotonit ja aalto-hiukkasdualismi elektronin aaltoluonne. Myös muut seuraavat käsitteet, kuten valo, interferenssikuvio, hiukkanen, rako ja kaksoisrakokoe ovat keskeisesti molempiin aiheisiin

liittyviä käsitteitä, joita ilman aiheiden käsittely perusteellisesti olisi lähes mahdotonta. Kaikista keskeisimmät ja konkreettisimman käsitteet esiintyivät useimmin teksteissä, kun taas kuvainnollisemmat termit esiintyivät harvemmin. Tieteen kieli on kehittynyt kuvaamaan ilmiöitä ja on olemassa tieteen kehittyessä syntyneet kvanttifysiikan termit, joilla aalto-hiukkasdualismia voidaan kuvailla (Fang & Wei, 2010). Aineenopettajaopiskelijat ovat käyttäneet näitä termejä ja ne ovat nousseet teksteissä yleisimmiksi. Adjektiiveja käytettiin huomattavasti vähemmän kuin käsitteitä. Adjektiivit ovat kuvainnollisempia ja eri opiskelijat käyttivät samoja adjektiiveja harvemmin kuin he käyttivät samoja käsitteitä. Numeraaleista vain numeraaleja yksi ja kaksi käytettiin useammin kuin kaksi kertaa. Muita numeraaleja opiskelijat käyttivät vain yksittäisissä esimerkeissä, kuten puhuessaan vuosiluvuista. Pronomineja käytettiin paljon ja yleisin pronomini ”joka” esiintyy usein mm. sen vuoksi, että teksteissä oli paljon positiivisia toteamuksia, joissa ”joka” esiintyi usein. Siis analyysin eri osat, kuten kotekstit, lauserakenne, verbin transitiivisuus, virkkeen tyyppi, virkkeen modaliteetti ja nominit tukevat toisiaan, mikä on analyysiprotokollan kannalta lupaavaa.

Kuvaajassa 1 näkyy, kuinka tekstin käsitteet noudattavat likimain Zipfin lakia. Tämä on merkki siitä, että analysoitujen tekstien määrä oli riittävä aineisto käsitteiden analyysille. Kuvaaja sisältää kuitenkin vain käsitteet, eikä kaikkia sanoja tai nomineita. Tämän perusteella analyysin tulokset liittyen käsitteiden analyysiin eivät luultavasti muuttuisi merkittävästi, vaikka analysoitaisiin lisää fysiikan aineenopettajaopiskelijoiden tekstejä.

Yhdessä tekstien virkkeiden jakautuminen konteksteihin ja koteksteihin, lauserakenne, virkkeen modaliteetti, virkkeen tyyppi, verbin transitiivisuus ja nominit kuvaavat tekstien listan kaltaisuutta. Opiskelijat vaihtoivat aiheita usein ja analyysin eri osat tukevat toisiaan tässä suhteessa. Analyysin tuloksista saadaan siis selville jotain tekstin luonteesta, vaikka tuloksissa ei ole enää tekstiä, vaan vain analysoidun tekstin ominaisuuksia.

5.1 Luotettavuustarkastelu

Jotta voisimme tietää, onko analyysiprotokolla luotettava ja toistettavissa oleva, pitäisi myös muiden analyysin tekijöiden tehdä analyysi samalle aineistolle ja verrata tuloksia tämän opinnäytetyön tuloksiin. Ilman tätä ei voida tietää, onko kehitetty analyysiprotokolla todellakin luotettava ja toistettava. Osa analyysiprotokollasta on suoraviivaista, mutta toisissa osissa analyysin tekijä saattaa vaikuttaa tuloksiin merkittävästi. Luotettavuus opinnäytetyön kannalta ei ole suurin ongelma, mutta jos analyysiprotokollaa sovellettaisiin myös tutkimuksiin, tulisi sen luotettavuus varmistaa.

Virkkeiden tyyppijako ja modaliteetit ovat analyysiprotokollan monitulkintaisiin

osa ja nämä luultavasti aiheuttaisivat suurimmat ongelmat tuloksien toistettavuudelle ja luotettavuudelle. Eri virkkeen tyypeille pitäisi muodostaa entistä selkeämpiä rajoja ja yhdistäviä tekijöitä, joiden avulla analyysistä saataisiin entistä yksikäsitteisempi ja vähemmän analyysin tekijän tulkinnasta riippuva. Esimerkiksi sääntö, että virkkeellä on vain yksi tyyppi, paitsi jos virkkeessä on sekä negatiivinen että positiivinen toteamus, on esimerkki siitä, miten tätä analyysiä on yritetty selkeyttää. Muuten virkkeissä siis analysoitiin vain ei-toteamustyyppi, vaikka virke olisi sisältänyt myös toteamuksia. Virkkeissä voi kuitenkin olla sekä toteamus että jokin muu virkkeen tyyppi, mutta analysoimisen monimutkaisuuden vuoksi päätettiin, että tällaisessa tilanteessa virkkeen ei-toteamus tyyppi on virkkeen ainoa tyyppi.

Myös modaliteetilla on sama luotettavuuden ja toistamisen ongelma toteamusten ja johtopäätösten erottelussa. Kysymykset ovat selkeästi erillisiä muista modaliteeteista, mutta joissakin tapauksissa ei ole selvää, onko kyseessä vain toteamus vai johtopäätös. Tätä rajattiin sillä, että johtopäätöksen tulee ilmaista kirjoittajan itse tekemää johtopäätöstä, eikä että opiskelija kertoo historiallisen henkilön tekemästä johtopäätöksestä. Lisäksi jako, että analyysissä tutkitaan aina vain yhtä virkettä kerrallaan, selkeyttää asiaa. Modaliteettia tutkittaessa luetaan vain yksi virke kerrallaan, eikä mietitä, mitä tekstiä virkettä ennen tai jälkeen on, vaikka tämä konteksti saattaisi vaikuttaa merkittävästi analyysiin. Jotta analyysi olisi mahdollisimman selkeä, analysoidaan vain kirjoitettua eikä taustalla olevaa merkitystä, koska silloin eri analyysin tekijät saattaisivat tulkita tilanteen eri tavalla.

Opinnäytetyössä analysoitiin suhteellisen pieni määrä tekstiä, joten analyysiä voisi jatkaa analysoimalla suuremman määrän tekstejä samasta fysiikan aineenopettajaopiskelijoiden aineistosta. Aineistosta valittiin kuitenkin kattavimmat tekstit, joten aineiston loput tekstit eivät ole yhtä kattavia ja niiden merkitys analyysiin koko ajan käy vähemmän merkittäväksi. Aineistoa valittaessa kiinnitettiin huomiota vain tekstien pituuteen, joten itse tekstien laadusta ei tiedetä mitään. Aineisto olisi kuitenkin monipuolisempi, jos analysoitaisiin myös lyhyempiä tekstejä tai jopa koko aineisto. Kuitenkin mitä enemmän tekstejä analysoidaan, sitä pienempi jokaisen yksittäisen tekstin merkitys on. Siis jossakin vaiheessa tekstien lisääminen analysoitavaksi ei tuottaisi enää merkittäviä eroja tuloksiin. Käsitteiden osalta kuvan 1 perusteella nykyinen aineisto oli jo tarpeeksi suuri analyysiä varten, koska käsitteiden esiintyminen noudatti Zipfin lakia.

Analyysiprotokollaa voisi myös soveltaa muihin aineistoihin kuin fysiikan aineenopettajaopiskelijoiden tuottamiin teksteihin. Opinnäytetyössä käytetyn aineiston aiheen vuoksi konteksteihin jakaminen oli suhteellisen vaivatonta, koska opiskelijoille oli annettu samat aiheet ”Aalto-hiukkasdualismi: valon hiukkasluonne” (DR3) ja ”Aalto-hiukkasdualismi: elektronien aaltoluonne” (DR4). Myös muissa luonnontieteellisissä

teksteissä kontekstijako saattaisi olla helppoa. Muissa kuin luonnontieteellisten tekstien tutkimuksissa konteksteihin jako saattaisi riippua analyysin tekijästä enemmän kuin luonnontieteellisissä teksteissä, joissa tekstit käsittelevät suurelta osalta samoja aiheita. Koteksteihin jako ei luultavasti tuottaisi ongelmia muissakaan teksteissä, mutta jos analyysissä kontekstijako olisi erilainen, se johtaisi myös erilaiseen kotekstijakoon.

Lauserakenteen tutkiminen analyysiprotokollan mukaan pitäisi olla täysin analyysin tekijästä riippumaton. Analyysin tekijä voi tehdä virheitä, jotka vaikuttavat hieman tuloksiin ainakin pienen aineiston analyysissä, mutta tämänkään ei pitäisi vaikuttaa merkittävästi lopputuloksiin. Virkkeistä pää-, sivu- ja vaillinaisten lauseiden tunnistaminen on todella suoraviivaista. Lauseenvastikkeita on monenlaisia, joten tässä suhteessa analyysi saattaisi olla enemmän riippuva analyysin tekijästä, mutta ei välttämättä merkittävästi. Lisäksi lauseenvastikkeissa olevat verbit analysoidaan siinä muodossa kuin ne olisivat vastaava sivulause, joten tässä analyysin tekijät voisivat tehdä erilaiset johtopäätökset.

Virkkeiden predikaattien transitiivisuuden tutkiminen pitäisi myös olla suhteellisen selkeää. Tässä analyysin vaiheessa jälleen analyysin tekijän on helppo tehdä virheitä, mutta muuten objektin tunnistaminen verbille pitäisi olla suoraviivaista. Lauseenvastikkeista analysoidaan myös verbit, joten tämä saattaisi olla verbien analyysin osalta eniten analyysin tekijästä riippuva osa.

Nominien analysointi on myös suoraviivaista. Nominien listaan vaikuttaa tietysti, mistä tekstistä analyysin aloittaa, mutta analyysin kannalta ei ole merkitystä, onko esim. ftoni nomini s25 vai s200. Analyysin tekijä saattaa vaikuttaa nominien analyysiin sillä, miten hän yhdistää erilaisia nomineita samoiksi koodatuiksi nomineiksi. Esim. opinnäytetyön analyysissä yhdistettiin nominit ”laite”, ”vehje”, ”laitteisto” ja ”mittauslaitteisto” samaksi käsitteeksi s78. Toinen analyysin tekijä olisi voinut jättää kaikki nämä nominit erillisiksi käsitteiksi. Nomineita voidaan myös yhdistää alanomineiksi, jotka ovat erillisiä nomineita, ja niillä on oma koodinsa. Alanominit ovat kuitenkin niin läheisesti liittyneitä johonkin toiseen nominiin, joten ne ovat toisen nominin alakäsitteitä. Toinen analyysin tekijä olisi voinut yhdistää tällaiset alanominit samaksi nominiksi tai kokonaan erillisiksi nomineiksi, mutta tämä ei vaikuttaisi tuloksiin merkittäväksi, koska alanomineilla on kuitenkin oma irrallinen koodinsa. Nominianalyysissä lisättiin myös hakasulkeisiin sanat, joihin pronominit viittasivat ja myös nämä sanat analysoitiin. Tapauksessa, jossa pronomini viittaa nominiin, jota kuvaa monta adjektiivia, nämä kaikki adjektiivit sekä nomini lisättiin hakasulkeissa tekstiin ja analysoitiin. Kokonaisuudessaan siis nominien analysoiminen on suhteellisen suoraviivaista, mutta analyysin tekijä saattaisi vaikuttaa myös tähän yhdistämällä eri nomineita samaksi.

Analyysiprotokolla kehittyy analyysin myötä, joten jos analyysiä jatkettaisiin, analyysiprotokolla saattaisi kehittyä luotettavammaksi. Kontekstit ja kotekstit ovat

analyysin aineistosta riippuvaisia, mutta lisäanalyysillä saatettaisiin löytää jotain uutta, mikä parantaisi analyysiprotokollaa. Luotettavuuden tarkastelun kannalta tärkeintä olisi analyysin toistaminen toisen analyysin tekijän toimesta. Tämän avulla voitaisiin varmistaa eri analyysin osien luotettavuus ja tarvittaessa muokata ja selventää analyysiprotokollaa.

6. Johtopäätökset

Aineenopettajaopiskelijat käsittelivät taustaa paljon, mikä tuli ilmi kontekstien analyysistä. Taustan tunteminen on tärkeää, koska jotta aihe voi olla opittu mielekkäästi, uusi tieto pitää olla yhdistettynä aikaisempaan tietorakenteeseen (Novak, 2002). Oppiminen tapahtuu kolmessa eri moodissa: tiedon lisääminen, tiedon rakenteen muuttaminen ja uuden tiedon perusteella tiedon rakenteen uudelleenrakentaminen (Liu, 2004). Analysoitujen tekstien perusteella aineenopettajaopiskelijat ovat ainakin tehneet näistä moodeista kaksi ensimmäistä. Tekstit olivat osana didaktisia rekonstruktioita, joiden tarkoituksena oli juuri kolmas moodi eli opiskelijoiden oman tiedon uudelleenrakentaminen (Mäntylä & Nousiainen, 2014). Suurella osalla aineenopettajaopiskelijoista analysoitujen tekstien perusteella luultavasti tiedon uudelleenrakentaminen kvanttifysiikan osalta on onnistunut. Kuitenkin tekstin 34dr3 kaikista virkkeistä n. 79 % käsitteli taustaa. Saman opiskelijan toisesta tekstistä n. 33 % käsittelee taustaa. Näiden tuloksien perusteella opiskelija ei välttämättä ole pystynyt uudelleenrakentamaan tietoaan kvanttifysiikasta. Kuitenkin tämä voi olla myös merkki siitä, että opiskelija ei vain yrittänyt parastaan tuottaessaan tekstejä.

Konteksteista yleisin oli kuitenkin K11 eli aalto-hiukkasdualismi, vaikka teksteissä käsiteltiinkin paljon aiheeseen liittyvää taustaa. Opiskelijoiden tekstien pitikin juuri käsitellä aalto-hiukkasdualismia koskien valoa ja elektroneja, joten ei ole yllättävää, että tämä konteksti oli yleisin. Opiskelijat siis kirjoittivat heille annetusta aiheesta onnistuneesti.

Kotekstien suuri määrä johtuu niiden määrittämisestä analyysissä, mutta antaa myös viittaa siitä, että fysiikan aineenopettajaopiskelijat vaihtavat aihetta usein. Aiheiden usein vaihtuminen voidaan jälleen selittää tekstien luonteella. Koska tekstit olivat osana kurssia, ainakin osa opiskelijoista on kirjoittanut tekstejä listan kaltaisessa muodossa, koska se vaatii vähemmän työtä. Tämä ei siis ole merkki siitä, että opiskelijat eivät kykenisi käyttämään monimutkaisempia tekstin rakenteita. Analyysiprotokollan kannalta on hyvä, että tuloksista ilmenee selkeästi aiheen vaihtuminen. Kotekstien suuri määrä siis onnistuu kuvaamaan alkuperäisten tekstien luonnetta.

Lauserakenteen analyysistä selvisi, että kaikista lauseista päälauseita oli reilusti yli puolet. Sivulauseet olivat kuitenkin yleisiä ja teksteissä ei ole yllättävää, että niitä

on vähemmän, koska sivulauseita ei voi olla ilman päälausetta. Koska sivulauseita oli suhteellisen vähän opiskelijat eivät kirjoittaneet pitkiä vaikeasti luettavia virkkeitä, joka on yleinen tieteellisen tekstin ominaisuus (Fang, 2006). Jälleen osa syynä tähän saattaa olla, että tekstit olivat osana kurssin suorittamista.

Virkkeen tyyppien analyysin perusteella aineenopettajaopiskelijat kirjoittivat lähinnä positiivisia toteamuksia. Opiskelijat siis käyttivät vain harvoin monimutkaisempia virkkeen rakenteita. Virkkeiden modaliteeteista n. 77 % oli toteamuksia, mikä kuvaa osaksi samaa asiaa. Yhdessä kontekstien ja kotekstien, lauserakenteen, virkkeen modaliteettien, virkkeen tyyppien, nominien ja verbin transitiivisuuden analyysin tulokset kertovat, että fyisiikan aineenopettajaopiskelijoiden tekstit ovat listan kaltaisia.

Nominien analyysin perusteella opiskelijat käyttivät laajaa sanastoa teksteissä, joka on tyypillistä aiheen asiantuntijoille (Yun & Park, 2018). He eivät kuitenkaan kirjoittaneet pitkiä virkkeitä, mikä on yleistä tieteelliselle kielelle (Fang, 2006). Tekstien perusteella ainakin aineenhallinnan kannalta ovat tieteellisesti lukutaitoisia (Glynn & Muth, 1994). Kuvaajan 1 perusteella aineiston käsitteet noudattavat Zipfin lakia, jonka perusteella analysoidun aineiston koko oli riittävä analyysiin käsitteiden osalta. Kuitenkaan kaikkia sanoja ei analysoitu ja kuvaajasta puuttuu muut nominin kuin käsitteet, joten tulos kaikilla sanoilla saattaisi olla erilainen.

Lauserakenteen tutkimista voisi parantaa tutkimalla lauserakennetta monella tasolla siten, että merkittäisiin eri tavalla, jos sivulause olisi alistettu toiseen sivulauseeseen. Tällöin saataisiin lisäinformaatiota lauserakenteesta. Lisäksi lauserakenteen tutkimisessa tulokset voitaisiin analysoida jonoina joukkojen sijaan. Analyysissä lauseet on merkitty selkeyden vuoksi esiintymisjärjestykseen, mutta tällä tiedolla ei ole tehty mitään. Lisäksi voitaisiin merkitä tilannetta, jossa päälauseen sisällä on sivulause eri tavalla kuin tilanteessa, jossa päälauseen jälkeen on sivulause. Näitä molempia tilanteita on merkitty vain P S analyysissä.

Virkkeiden tyyppien kehittäminen olisi ehkä analyysiprotokollan yksi suurimmista kehityskohdista. Virkkeiden tyypejä voisi tehdä entistä selkeämmiksi ja tulosten kannalta järkevämmiksi. Modaliteeteissa suurin kysymys on johtopäätösten erottaminen toteamuksista. Tähän olisi luultavasti mahdollista kehittää tarkempi raja, jonka mukaan analyysin tekijä voisi tehdä päätöksen, mutta tämän analyysin aikana ei syntynyt täysin kattavaa kriteerilistaa, minkä perusteella voitaisiin päätellä virke johtopäätökseksi. Myös periaatteessa modaliteetti voisi olla lauseen ominaisuus virkkeen ominaisuuden sijasta. Yksittäisissä virkkeissä voi olla sekä toteamuslause ja kysymyslause, mutta nykyisessä analyysissä kaikki virkkeet, jotka sisältävät kysymyslauseen tai johtopäätöksen, ovat vain kysymyslauseita tai johtopäätöksiä modaliteetiltaan. Jos analysoitaisiin jokaisen lauseen modaliteetti voitaisiin tulokset myös analysoida jonoina, jolloin informaation määrä lisääntyisi entisestään. Tämä kuitenkin tuskin tuot-

taisi erityisen hyödyllistä informaatiota tulokseksi, joten muut kehittämisideat ovat luultavasti hyödyllisempiä.

Modaliteetti ja virkkeen tyyppi ovat myös osaksi päällekkäisiä, joten niitä pystytettäisiin mahdollisesti kehittämään toistensa suhteen paremmiksi. Modaliteetti ja virkkeen tyyppi voitaisiin myös mahdollisesti yhdistää samaksi analyysin osaksi tai irrottaa kokonaan erillisiksi toisistaan, jolloin modaliteetti ja virkkeen tyyppi eivät olisi enää päällekkäisiä. Varsinkin toteamusten ja kysymysten päällekkäisyys lisää analyysiin kuluva aikaa, koska ne ovat tyyppin ja modaliteetin analyyseissä lähes sama asia.

Verbianalyysissä tutkittiin vain verbin transitiivisuutta, joten parannetussa analyysiprotokollassa voitaisiin mahdollisesti analysoida myös itse verbejä, kuten käsitteitä on analysoitu. Tässä analyysissä itse verbit katoavat tuloksista kokonaan paitsi niiden transitiivisuuden osalta, joten teksteistä katoaa merkittävä määrä informaatiota analyysissä. Puuttuvia verbejä lisättiin myös vaillinaisiin lauseisiin hakasulkeisiin, joten on mahdollista, että eri analyysin tekijät eivät huomaa samoja puuttuvia verbejä. Lauseenvastikkeet analysoidaan myös, kuten lauseenvastikkeet olisivat sivulause muodossa, joten analyysin tekijä vaikuttaa myös tähän, jos hän ei tunnista jotain kohtaa virkkeestä lauseenvastikkeeksi kuten toinen analyysin tekijä tunnistaisi. Näillä on tuskin kovin suuri vaikutus lopputuloksiin. Verbien analyysissä tulokset voitaisiin myös analysoida jonoina, joukkojen sijaan, jotta saataisiin lisäinformaatiota. Analyysiprotokollan kehittämisessä juuri verbien tai ainakin lauseiden predikaattien sisällyttäminen analyysiin saattaisi olla kaikista hyödyllisin informaatio verrattuna nykyiseen analyysiprotokollaan. Tämän avulla voitaisiin muodostaa tekstin virkkeistä selkeämpiä yhteyksiä eri nominien välille, mikä saattaisi olla tietokoneella tehdyssä jatkoanalyysissä hyödyllistä.

Nominien analysoiminen on itsessään suhteellisen kattava, mutta tekstistä voitaisiin analysoida myös muita sanaluokkia. Adverbejä, adpositioita, partikkeleita ja konjunktioita ei analysoida nykyisessä analyysiprotokollassa. Tekstistä voisi tunnistaa myös eri lauseenjäsenet, kuten objektit ja subjektit. Nämä tekisivät analyysistä paljon kattavampaa. Lisäksi myös nominien analyysissä järjestys voitaisiin ottaa huomioon, eli tulokset voitaisiin analysoida jonoina. Nämä muutokset yhdessä verbien analysoimisen kanssa merkitsisivät sitä, että käytännössä lähes koko teksti olisi koodattu, jolloin tietokoneanalyysissä voitaisiin analysoida todella suurta osaa alkuperäisestä tekstistä. Tämän avulla pystytettäisiin varmasti pääsemään tietokoneanalyysissä lopputuloksiin, joihin ei voisi nykyisen analyysiprotokollan tuloksien avulla päästä.

Analyysi on toistaiseksi tehty täysin käsin, joten kun mietitään, miten kehittää analyysiprotokollaa jatkossa, täytyy punnita, mikä on analyysin kannalta tärkeintä: analyysin tekeminen suuremmalle aineistolle vai syvällisemmän analyysin tekeminen saman kokoiselle aineistolle. Analyysin tekeminen jo nykyisellä tasolla vaatii erittäin

paljon aikaa, joten jos analyysiprotokollaa ei pystytä joltakin osalta automatisoimaan, ei ole mielekästä olettaa, että analyysiä pystytettäisiin merkittävästi syventämään ja samalla tekemään analyysin isommalle aineistolle. Kuitenkin erilaiset muutokset analyysiprotokollaan lisäävät lopputuloksen sisältämää informaatiota, joten jatkoanalyysissä tietokoneella voisi saada vielä enemmän selville.

Seuraavaksi opinnäytetyön tuloksia voitaisiin tutkia syvällisemmin tietokoneella tehdyllä analyysillä, jossa voitaisiin soveltaa muuta analyysiä kuin frekvenssianalyysiä ja voitaisiin saada selville uusia tuloksia, joita ei tässä opinnäytetyössä saatu selville analyysin lopputuloksesta. Verkkotutkimusta soveltamalla voitaisiin mallintaa aineistoa lingvistisenä verkkona (Araújo & Banisch, 2016). Verkon rakenne riippuu vahvasti siitä, miten se rakennetaan ja sen perusteella, mitä haluttaisiin tutkia. Verkoston muodostamisessa yhtenä kysymyksenä nousee esille kontekstin ongelma. Jokaisen käytetyn sanan merkitys voi muuttua ja merkitys riippuu kontekstista (Evans, 2009). Vasten literalismin käsitystä sanojen merkitys on kontekstisidonnainen, joten jos konteksti ei käy ilmi aineistosta tehdystä verkostosta, verkoston analysoiminen on merkityksen kannalta rajoitettua.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli muodostaa analyysiprotokolla, jonka avulla voidaan muodostaa suomenkielisestä tekstistä lopputulos, jota voidaan analysoida tietokoneella lisää. Kehitetyllä analyysiprotokollalla voidaan analysoida suomenkielistä tekstiä, joka todistettiin analysoimalla fysiikan aineenopettajaopiskelijoiden didaktisten rekonstruktioiden selittäviä tekstejä. Analyysiprotokollalla pystytään erottelemaan ja analysoimaan aineenopettajaopiskelijoiden käyttämää sanastoa ja tekemään siitä yksinkertaisia johtopäätöksiä. Tietokoneella olisi mahdollista tutkia käsitteiden liittymistä toisiin käsitteisiin ja kuinka pitkä tämä reitti olisi. Tämän avulla voitaisiin päätyä uusiin tuloksiin fysiikan aineenopettajaopiskelijoiden kirjoituksista. Tietokoneanalyysissä pystytettäisiin soveltamaan semanttisia ja sanastollisia verkostoja analyysiin (De Deyne ym., 2016).

Fysiikan aineenopettajaopiskelijat käyttivät kaksoisrakokokeen sanastoa varsin laajasti. Teksteissä opiskelijoiden kaksoisrakokokeen ymmärrys oli tyydyttävää ja he kuvailivat kaksoisrakokokeen eri puolia monipuolisesti, joten aineenopettajaopiskelijat hallitsivat aiheeseen liittyvän tieteellisen kielen (Fang & Wei, 2010). Aineenopettajaopiskelijat ovat tieteellisen kielen asiantuntijoita (Yun & Park, 2018). Monipuolisen sanaston sisäistäminen on perusta sille, että tulevat opettajat voivat opettaa aiheen opiskelijoille. Pelkkä monipuolinen sanasto ei kuitenkaan riitä aiheen opettamiseen (Yager, 1983), vaan aineenopettajaopiskelijoiden tulee ohjata opiskelijoita kvanttifysiikan oppimisessa yhdistämään kvanttifysiikan tiedot opiskelijoiden aikaisempaan tietoon (Dissessa & Sherin, 1998). Monet aineenopettajaopiskelijat painottivat suhteellisen paljon taustalla olevaa klassista fysiikkaa modernin fysiikan sijaan. Tämä on hyödyllistä ai-

heen mielekkäästi oppimisen kannalta, kun opiskelijat voivat rakentaa tiedon osaksi heidän aikaisempaa tietoa. Tällöin opiskelijoille muodostuu kokonainen kuva fysiikasta ja he osaavat soveltaa tietoaan ongelmanratkaisutilanteisiin (Bagno ym., 2000). Kuitenkin kaikissa analysoiduissa teksteissä ymmärrys oli riittävää ja aihetta opetettaessa taustatiedot ovat tärkeämmässä osassa kuin aiheen ymmärtäminen yliopistotasolla. Tekstien perusteella aineenopettajaopiskelijat olivat oppineet kvanttifysiikan tiedon syvällisesti ja uudelleenrakentaneet heidän tietonsa uudelleen yhtenäiseksi kokonaisuudeksi, joka on didaktisten rekonstruktioiden tarkoitus (Mäntylä & Nousiainen, 2014). Aineenopettajaopiskelijoiden teksteissä on erittäin paljon toteamuksia ja tekstit ovat usein lista faktoja. Tekstit sisälsivät kuitenkin suhteellisen paljon johtopäätöksiä, mikä on jatkossa heidän opetuksensa kannalta lupaavaa. Kysymyksiä opiskelijat esittivät todella harvoin, mutta tämä voi hyvin johtua vain analysoitavien tekstien luonteesta, koska tekstit olivat opiskelijoiden kirjoittamia kurseilla, joissa pääpainona oli heidän oman tietonsa jäsentäminen eikä suoraan muille aiheen opettaminen. Teksteissä oli lisäksi suhteellisen paljon lauseenvastikkeita, jotka saattavat tehdä heidän opetuksestaan epäselvää.

Opinnäytetyössä tutustuttiin kielen merkitykseen oppimisessa, kehitettiin analyysiprotokolla, jolla voidaan tutkia suomenkielisiä tekstejä käsin, analysoitiin kehitetyllä analyysiprotokollalla 12:n fysiikan aineenopettajaopiskelijan tekstiä, esitettiin tulokset erilaisina kaavioina, tulkittiin tuloksia ja pohdittiin, miten analyysiprotokollaa voitaisiin kehittää jatkossa. Mahdollisia jatkotutkimuksia on paljon. Opinnäytetyön tuloksia voitaisiin analysoida suoraan tietokoneella, jolloin saataisiin selville enemmän kuin, mitä on mahdollista käsin selvittää datasta. Analyysiprotokollan kehitystä voisi jatkaa myös soveltamalla protokollaa suurempaan aineistoon tai täysin erilliseen aineistoon. Analyysiprotokollan luotettavuutta voitaisiin myös tutkia, kun analyysin suorittaisi toinen analyysin tekijä. Tämän avulla voitaisiin selvittää, kuinka paljon analyysin tekijä vaikuttaa analyysin tuloksiin. Järkevin jatkotutkimus on varmasti kuitenkin opinnäytetyön tulosten jatkoanalyysi tietokoneella, koska tällöin voidaan saada selville, mitä analyysiprotokollan tuloksista oikeasti voidaan oppia. Muut jatkotutkimukset taas kehittäisivät analyysiprotokollaa eteenpäin, mutta eivät välttämättä antaisi lisätietoa, onko analyysiprotokollalla analysointi ylipäättään mielekästä.

Lähdeviitteet

- Araújo, T. & Banisch, S. (2016). Multidimensional analysis of linguistic networks. In *Towards a Theoretical Framework for Analyzing Complex Linguistic Networks*, pages 107–131. Springer.
- Bagno, E., Eylon, B.-S., & Ganiel, U. (2000). From fragmented knowledge to a knowledge structure: Linking the domains of mechanics and electromagnetism. *American Journal of Physics*, 68:16–.
- Cheong, Y. W. & Song, J. (2014). Different levels of the meaning of wave-particle duality and a suspensive perspective on the interpretation of quantum theory. *Science Education*, 23(5):1011–1030.
- Chomsky, N., Noam, C., ym. (2002). *On nature and language*. Cambridge University Press.
- de Broglie, L. (1925). Recherches sur la theorie des quanta [on the theory of quanta]. *Ann. Phys.*, 10(3):22–128.
- De Deyne, S., Verheyen, S., & Storms, G. (2016). Structure and organization of the mental lexicon: A network approach derived from syntactic dependency relations and word associations. In *Towards a theoretical framework for analyzing complex linguistic networks*, pages 47–79. Springer.
- Disessa, A. & Sherin, B. (1998). What changes in conceptual change? *International Journal of Science Education*, 20:1155–1191.
- Drieger, P. (2013). Semantic network analysis as a method for visual text analytics. *Procedia-social and behavioral sciences*, 79:4–17.
- Evans, V. (2009). *How words mean : lexical concepts, cognitive models, and meaning construction*. Oxford linguistics. Oxford University Press, Oxford.
- Fang, Z. (2006). The language demands of science reading in middle school. *International journal of science education*, 28(5):491–520.

- Fang, Z. & Wei, Y. (2010). Improving middle school students' science literacy through reading infusion. *The Journal of Educational Research*, 103(4):262–273.
- Ford, A. & Peat, F. D. (1988). The role of language in science. *Foundations of physics*, 18(12):1233–1242.
- Glynn, S. M. & Muth, K. D. (1994). Reading and writing to learn science: Achieving scientific literacy. *Journal of research in science teaching*, 31(9):1057–1073.
- Gunstone, R. & Mitchell, I. (1998). *Metacognition and Conceptual Change*, pages 134 – 163. Academic Press, United States of America.
- Hobson, A. (2005). Electrons as field quanta: A better way to teach quantum physics in introductory general physics courses. *American Journal of Physics*, 73(7):630–634.
- Itza-Ortiz, S. F., Rebello, S., & Zollman, D. (2003). Students' models of newton's second law in mechanics and electromagnetism. *European Journal of Physics*, 25(1):81.
- Liu, X. (2004). Using concept mapping for assessing and promoting relational conceptual change in science. *Science Education*, 88(3):373–396.
- Mäntylä, T. (2011). Didactical reconstruction of processes in knowledge construction: Pre-service physics teachers learning the law of electromagnetic induction. *Research in Science Education - RES SCI EDUC*, 42:1–22.
- Mäntylä, T. & Nousiainen, M. (2014). Consolidating pre-service physics teachers' subject matter knowledge using didactical reconstructions. *Science & Education*, 23(8):1583–1604.
- Marslen-Wilson, W. D. (1987). Functional parallelism in spoken word-recognition. *Cognition*, 25(1-2):71–102.
- Meara, P. (1996). The dimensions of lexical competence. *Performance and competence in second language acquisition*, 35:33–55.
- Millikan, R. A. (1916). A direct photoelectric determination of planck's " h ". *Phys. Rev.*, 7:355–388.
- Nousiainen, M. (2013). Coherence of pre-service physics teachers' views of the relatedness of physics concepts. *Science & Education*, 22(3):505–525.
- Novak, J. D. (2002). Meaningful learning: The essential factor for conceptual change in limited or inappropriate propositional hierarchies leading to empowerment of learners. *Science Education*, 86(4):548–571.

- Sowa, J. F. (1987). Semantic networks.
- Wellington, J. & Osborne, J. (2001). *Language and literacy in science education*. McGraw-Hill Education (UK).
- Yager, R. E. (1983). The importance of terminology in teaching k-12 science. *Journal of Research in Science Teaching*, 20(6):577–588.
- Yore, L. D., Hand, B., Goldman, S. R., Hildebrand, G. M., Osborne, J. F., Treagust, D. F., & Wallace, C. S. (2004). New directions in language and science education research. *Reading Research Quarterly*, pages 347–352.
- Young, T. (1804). The bakerian lecture: Experiments and calculations relative to physical optics. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 94:1–16.
- Yun, E. & Park, Y. (2018). Extraction of scientific semantic networks from science textbooks and comparison with science teachers' spoken language by text network analysis. *International Journal of Science Education*, 40(17):2118–2136.

Liitteet

s1	luku	s50	kentän kvantti, kentän viritystila	s87.2	kenttäolio, kenttämäinen olio
s2	fyysikko	s50.1	sähkömagneettisen kentän kvantti	s87.3	aaltomainen olio
s3	teoria	s50.2	sähkömagneettisen kentän viritystila	s88	luokka
s4	valo	s50.3	kentän kvantittunut viritystila, kvantittuneen kentän viritystila	s89	klassinen aalto
s5	hiukkasmalli	s51	rata, reitti, kulkureitti, matkustusreitti	s90	superpositioperiaate
s6	aaltomalli	s52	valonlähde, lähde	s91	vaihe
s7	Thomas Young	s53	väli	s92	vaihe-ero
s8	aaltoliike	s54	todennäköisyys	s93	vakio
s9	alku	s55	osuma	s94	yksöisrako
s10	käyttäytyminen	s56	jakauma	s95	Huygensin periaate
s11	kaksoisrakokoe	s56.1	todennäköisyys-jakauma	s96	alkeisaalto
s12	rako	s57	kanta	s97	yksöisrakokoe
s13	puoli	s58	interferenssi, interferenssitapahtuma	s98	lasersäde, laservalo, helium-neonlaser, laser
s14	seinämä, rakoseinä	s59	aaltofunktio, aaltoyhtälö	s99	millimetri mm
s15	kohta	s60	todennäköisyys aalto	s100	sivu
s15.1	osumakohta osumiskohta, saapumispaikka	s60.1	todennäköisyys amplitudi	s101	sähkömagneettinen säteily sähkömagneettinen aalto
s16	interferenssikuviot	s61	fysikaalinen aalto	s102	rakokoe
s17	raita	s62	abstrakti aalto	s103	hiukkasteoria
s18	aalto	s63	apu	s104	aaltoteoria
s18.1	vesiaalto	s64	muodostuminen	s105	alkuvuosi
s19	klassinen hiukkanen, klassinen hitunen	s65	aalto-ominaisuus, aaltomainen ominaisuus	s106	vuosi
s20	intensiteetti	s66	neliö	s107	maksimi, maksimikohta
s21	energia	s67	esiintyminen	s108	minimi, minimikohta
s22	pinta-alayksikkö	s68	hiukkasominaisuus, hiukkasmainen ominaisuus	s109	interferenssiraita
s23	aikayksikkö	s69	hiukkahavainto	s110	päämaksimi
s24	määrä	s70	hiukkahavaintopiste	s111	sivumaksimi
s25	fotoni	s71	ominaisuus	s112	aallonhuippu
s25.1	valohiukkanen, valon hiukkanen, valokvantti	s72	elektroni	s113	aallonpohja
s26	havainto	s73	alkeishiukkanen	s114	kulma
s27	pohja	s74	aine, materia	s115	kaava
s28	malli	s75	luonne	s116	etäisyys
s29	fotonimalli	s76	elektronisuihku	s117	aallonpituus
s30	hiukkanen	s77	tapaus	s118	radiaani
s30.1	hiukkasolio	s78	suihku	s119	säteily
s31	Youngin kaksoisrakokoe	s79	laite, vehje, laitteisto, mittauslaitteisto	s120	approksimaatio
s32	hiukkasluonne	s80	viritystila	s121	keskus keskusta
s33	aaltoluonne	s80.1	kenttä	s122	kappale
s34	kaksoisrako	s80.2	fermionikenttä	s123	amplitudi
s35	kerta	s81	sähkömagneettinen kenttä	s124	yksittäistapahtuma
s36	Compton	s82	esimerkki	s125	Rueckner ja Titcomb
s37	varjostin	s83	kvantti	s126	minuutti
s38	sama	s84	piste	s127	kysymys
s39	aika, reaaliaika	s84.1	aalto-hiukkasdualismi, dualismi	s128	rekisteröinti
s40	koe	s85	aaltohiukkasdualistinen luonne	s129	tiheys
s41	klassinen fysiikka	s86	vuorovaikutus	s130	vuoro
s42	hiukkaskäsitys	s87	periaate, perusperiaate, pääperiaate	s131	sekunti
s43	tapa	s87.1	olio perusolio oliotyyppi	s132	näkökulma
s44	tulos, lopputulos, mittaustulos		kvanttio	s133	kuvio
s45	muoto			s134	huomio
s46	yksilö			s135	hetki
s47	kyse			s136	paikka
s48	olemassaolo			s137	geometria
s49	vuorovaikutus- tapahtuma, vuorovaikutustilanne			s138	kyse
				s139	kentän aalto
				s140	vaihtoehto

s141	todennäköisyystiheys	s194	tila	s245	energian säilyminen, energian
s142	ilmainen	s195	taajuus		säilymisperiaate
s143	Louis de Broglie	s196	voimakkuus	s246	liikemäärän säilyminen,
s144	väitöskirja	s197	kvantittuminen		liikemäärän säilymisperiaate
s145	hypoteesi	s198	biljardi-, pingis-, keilapallo,	s247	systemi
s146	laji		pallero, pallo	s248	summa
s147	valosähköinen ilmiö	s199	luokkahuone	s249	loppu
s148	Comptonin sironta Comptonin	s200	opetus	s250	metalli
	ilmiö	s201	palloaallon lähde	s251	pinta
s149	liikemäärä	s202	koulu	s252	irtoaminen
s150	suure	s203	videosimulaatio	s253	Einstein
s151	yhteys	s204	tyhjiöputki, putki	s254	Energiakvantti
s152	Planckin vakio	s205	saapuminen	s255	energiaperiaate
s153	kulmataajuus	s206	havainnointi, havaitseminen	s256	Millikanin koe
s154	yhtälö	s207	ilmestyminen	s257	piiri
s155	de Broglien aallonpituus	s208	tulkinta, tulkintamalli	s258	virta
s156	aaltovektori	s209	olemus	s259	jännite
s157	mieli	s210	kaveri, tyyppi	s260	liike-energia
s158	diffraktio	s211	opiskelija	s261	lineaarinen riippuvuus
s159	kide	s212	Bohrin atomimalli	s262	tosi
s160	röntgen säteily	s213	atomiydin	s263	irrotustyö
s161	C.J. Davisson, L.H. Germer	s214	ympyrärata	s264	kerta-annos
s162	elektronidiffraktio	s215	käsitys	s265	kenttämalli (klassinen),
s163	ennuste	s216	koejärjestely		kenttätulkinta (klassinen)
s164	Merli, Missiroli, Pozzi	s217	oppitunti, kemian tunti	s266	Comptonin koe
s165	vahvistus	s218	korvaaja	s267	matka
s166	duaalisuus	s219	prisma	s268	osoitus
s167	jako	s220	osa, osanen	s269	silta
s168	käyttö	s221	monitori	s270	kimmoisa törmäys
s169	ilmiö	s222	käyttäytymistapa	s271	siroamisilmiö
s170	polarisaatio, polarisaatiofiltteri		käytöstapa	s272	grafiitti
s171	lepomassa, massa	s223	mittaus, mittaustapahtuma	s273	muutos
s172	varaus		mittaaminen	s274	siroamiskulma, sirontakulma
s173	tapahtuma	s224	tarkkailu	s275	funktio
s174	törmäys	s225	peruste	s276	intensiteettihiikki, piikk, viiva
s175	hiukkaslaji	s226	kvanttimaailma	s277	rakenne
s176	taso	s227	makromaailma	s278	suuruus, koko
s177	elektroniaalto	s228	molekyyli	s279	seinä
s178	esiintymis- todennäköisyys	s229	piirre	s280	merkitys
s179	yhdistelmä	s230	nopeus	s281	tieto
s180	laki	s231	paikkatieto	s282	voima
s181	kvanttimekaniikka	s232	Heisenbergin	s283	aukiolo
s182	fermioni		epätarkkuusperiaate	s284	sulkeminen
s183	bosoni	s233	epätarkkuus	s285	atomi
s184	kieltosääntö Paulin kieltopääntö	s234	aaltopaketti	s286	paikallistuminen
s185	rakenneosa	s235	kulkemisaika	s287	alue
s186	protoni	s236	kvanttikenttämalli	s288	kenttätulkinta
s187	neutroni		kenttämalli, kenttäteoria,	s289	ongelma
s188	leptoni		kvanttikenttäteoria	s290	hiukkasmaisuuus
s189	kvarkki	s237	pohtiminen	s291	ontologia
s190	vuorovaikutuksen	s238	superpositio	s292	kvanttifysiikka
	kantajahiukkanen	s239	siirtyminen	s293	kvanttiluonne
	välittäjähiukkanen	s240	mallintaminen	s294	kamera
s191	sähkömagneettinen	s241	tilanne	s295	oskilloskooppi
	vuorovaikutus	s242	yläaste	s296	kuva
s192	vahva vuorovaikutus	s243	portti	s297	aukko
s193	gluoni	s244	maailma, universumi	s298	kertyminen

s299	ruutu	a20	jatkuva	a77	kahdenlainen
s300	välähdys	a21	olemassa oleva	a78	mahdollinen
s301	pistemäisyys	a22	tunnistettava	a79	perinteinen
s302	näkemys	a23	yksilöityvä yksilöllinen	a80	monokromaattinen,
s303	tulkintamahdollisuus	a24	laaja-alainen		koherentti
s304	kuvaus	a25	mielekäs	a81	samanvaiheinen
s305	perustelu	a26	paikallistuva, paikallistunut	a82	pistemäinen
s306	rae	a27	samanlaisena pysyvä	a83	valoton
s307	kenttäluonne	a28	eri	a84	seuraava
s308	vertailukohta	a29	duaalinen	a85	sähköinen
s309	tilaisuus	a30	hetkellinen	a86	kummallinen
s310	vertailu	a31	paikallinen, lokaali	a87	tarpeellinen
s311	avaruus	a32	havaittava	a88	olennainen
s312	elektronisäteily	a33	fysikaalinen	a89	vanha
s313	käsite	a34	kaltainen	a90	vastaava
s314	hippu	a35	pieni, minikokoinen, pikkuinen	a91	täysi
s315	tarve	a36	äskeinen	a92	identtinen
s316	seuraus	a37	<i>kvantittunut ?</i>	a93	paradoksaalinen
s317	pintamateriaali	a38	<i>virittynyt ?</i>	a94	selvä
s318	määritelmä	a39	kokonainen, koko	a95	huitea
s319	tarkkuus	a40	hiukkasmainen	a96	yllättävä
s320	moderni fysiikka	a41	aaltomainen	a97	erilainen
s321	summa-aalto	a42	konstruktiiivinen	a98	erikoinen
s322	tasoaalto	a43	destruktiiivinen	a99	täydellinen
s323	sironta, siroaminen	a44	vahventava	a100	toimiva
s324	spektri	a45	heikentävä	a101	täsmällinen
s325	aallonpituus ero, vaihe-ero	a46	leveä	a102	ihana
s326	sähkökenttä	a47	valoisa	a103	kompleksinen
s327	magneettikenttä	a48	vahva	a104	mielelön
s328	Maxwellin yhtälöt	a49	symmetrinen	a105	sopiva
s329	käsi	a50	vastaavanlainen	a106	edistynyt
s330	selittäminen	a51	verrannollinen	a107	uusi
s331	kasa	a52	rakeinen	a108	ärsyttävä
s332	kenttä-hiukkasdualismi	a53	suhteellinen	a109	kiinnostava
s333	elektronikentän kvantti	a54	korkea	a110	riittävä
s334	ilmeneminen	a55	tunnettu	a111	sironnut ?
s335	perus aineosa	a56	ekvivalentti	a112	kimmoisa
a1	kilpaileva	a57	mahdoton	a113	todennäköinen
a2	kapea	a58	mukainen	a114	mennyt
a3	lähekkäinen, vierekkäinen	a59	oma	a115	tuleva
a4	näkyvä	a60	ominainen	a116	uudenlainen
a5	kirkas	a61	jatkuvasti olemassa oleva	a117	itsenäinen
a6	tumma	a62	säännöllinen	a118	vaikea
a7	paljon (enemmän)	a63	samanlaisena toistuva	a119	tarvittava
a8	heikko, himmeä	a64	tuttu	a120	suora
a9	vähän	a65	ainoa	a121	selitettävä
a10	klassinen	a66	matemaattinen	a122	pätevä
a11	aiempi	a67	redusoitu	a123	yhdenlainen
a12	samankaltainen, samanlainen	a68	kiihdytetty	a124	erityinen
	samannäköinen	a69	historiallinen	a125	herkkä, valoherkkä
a13	voimakas	a70	liittyvä	a126	matala
a14	yksittäinen	a71	oikea	a127	tyypillinen
a15	satunnainen	a72	massiivinen, massallinen	a128	kohdistettava
a16	tietty	a73	välinen	a129	ylläoleva
a17	jonkinlainen	a74	suuri	a130	edellinen
a18	hyvä	a75	abstrakti	a131	lokalisoitunut ?
a19	järkevä	a76	tilastollinen	a132	vaimennettu ?

a133	samanaikainen	n4	yksi 1	p9	mikä
a134	konkreettinen	n5	nolla 0	p10	mikään
a135	ei-klassinen	n6	0,1	p11	usea
a136	sellainen	n7	1900	p12	itse
a137	riippuva	n8	1801	p13	muu
a138	monoenerginen	n9	0,5	p14	jokin
a139	alkuperäinen	n10	60	p15	kaikki
a140	pitkäaaltoinen	n11	1924	p16	muutama
a141	lyhytaaltoinen	n12	1927	p17	jompikumpi
a142	kokeellinen	n13	1974	p18	moni
a143	poistuva	p1	hän	p19	kuka
a144	yleinen	p2	joka	p20	molemmat
a145	viime	p3	toinen	p21	minkälainen, millainen
a146	tukeva	p4	tämä	p22	nämä
a147	epämääräinen	p5	kumpikin	p23	jokainen
n1	1700	p6	ne	p24	kumpi
n2	1800	p7	sama	p25	he
n3	kaksi 2	p8	se	p26	me

Lista 1: Lista teksteissä esiintyvistä nomineista

	n4	n3	n2	n5	n6	n1	n7	n8	n9	n10	n11	n12	n13
16dr3	2	2	2			1							
16dr4	4	1		1									
27dr3	10	9		1	2		1	1	1	1			
27dr4	5	2									1	1	1
31dr3	1	1											
31dr4		3											
34dr3	1	2											
34dr4	1	1											
41dr3		1											
41dr4	1												
46dr3	1	3											
46dr4	1												
summat	27	25	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1

Taulukko 10: Numeraalien frekvenssitaulukko alkaen suurimmasta frekvenssistä

	p2	p8	p3	p4	p9	p7	p5	p13	p15	p6	p12	p20	p10	p14	p22	p17	p1	p18	p16	p21	p24	p11	p19	p23	p25	p26
16dr3	11	5	5	3	3	1	1	1		1	1		2				3					1				
16dr4	8	8	1	3	1	2	1	1	1	2			1	1												
27dr3	17	6	6	3	7	5	5	3	1	1	3		2			1			1							
27dr4	21	8	1	3	7	4	1	5	6	1	4		3					1					1			
31dr3	5	12	2	1	1			1		1	1	5		2	1	1				2						
31dr4	8	7	1	2	2	3		2		1				1				1			1			1		
34dr3	8	13	9	7	2	1	1			1				1						1					1	
34dr4	8	8	8	1	2	1	2		2	2	1					1										
41dr3	8	5	4	6	1		1					1			2	1		1	1							
41dr4	6	4	1	4	4			2		1	1	2		1	2											1
46dr3	11	4	4		2	1	2		2	1																
46dr4	6	3	2		1	2	2		2			2														
summat	117	83	44	33	33	20	16	15	14	12	11	10	8	6	5	4	3	3	2	2	2	1	1	1	1	1

Taulukko 11: Pronominien frekvenssitaulukko alkaen suurimmasta frekvenssistä

	s25	s71	s4	s16	s30	s12	s11	s40	s18	s32	s59	s80	s28	s33	s20	s65	s37	s58	s87	s21	s15.1	s54	s55	s56.1	s41
16dr3	31		26	7	4	5	8	5	3	2	10		6	3	3	3	8	2		3	2	4	2	5	1
16dr4	2	36	5	6	2	2	6	4	3	4	11	10	2	6	4	7	7	1	3	5	2	3	1	4	2
27dr3	39		33	27	6	22	15	11	14	8	5		4	5	7	1	7	9			7	4	10	6	1
27dr4	29	32	11	9	26	3	15	8	14	10	9		7	10	4	9	3	6	9	4	8	2	6	7	
31dr3	31		16	4	6	8	1	3	3	1			1	3	2		3	3		2				1	1
31dr4	4	32	1	4	6	8	6	3	1	3	3	6		2			1		6	3		1			
34dr3	26	11	17	6	4	4	2	5		4		5			3				5	6	1	1			9
34dr4		21		6	9	7		4	2			6	1		1			1	5			1	5		1
41dr3	19		18	7	3	11	3	3	2	5			1	1	3	2	2				1	1			1
41dr4	7	22	1	6	13	3	1	5	5	2		5	3	2	2	1			1	1		2			3
46dr3	14	3	3	5	8	5		3	5	2	1	3	7	2	2	4	1	3		2	2	4			3
46dr4	8	4	1	6	3	5	3	2	2	2		4	4	2	2	4		3		2	2	1			1
summat	210	161	132	93	90	83	60	56	54	43	39	39	36	36	33	31	30	30	29	28	25	24	24	24	22
	s68	s70	s8	s19	s49	s169	s208	s34	s35	s119	s15	s26	s60	s136	s149	s294	s31	s63	s117	s81	s43	s73	s241	s44	s82
16dr3	1	1	4	3	3			2	2		4	3	1				1	1			2			1	
16dr4	4							4	1		1	3	2				1	1		1	2	2		1	1
27dr3		1	1	4	1			5	3	2	5	1	4	1			4	1	2	3	1			5	
27dr4	6	3	4		3	3		2	2	1	2	1	9	1	5		1	4	5	5	4	1			2
31dr3		3	7	2	1	1	2	1	1		2			2	2		3		1					1	
31dr4		1		1		3	3	1					4	2				1		4	3				2
34dr3		1		3		1				3			3	6			1		7			2	2		
34dr4		1		1	1		5		3			4		1			2						1		
41dr3	2	3		3			2	1	2					2		5		2		1	1		4	2	
41dr4	1	1		2			6		1	1	1	3		1	1	4		1					2		1
46dr3	4	3	2		5	7		1	1	6		1		1		4	2	2				4	2	1	3
46dr4	4	3	1		5	4			1	4	1					3		2				4	2	1	3
summat	22	21	19	19	19	19	18	17	17	17	16	16	16	16	16	16	15	15	15	14	13	13	13	12	12
	s133	s5	s75	s83	s85	s125	s200	s13	s39	s98	s268	s6	s7	s50.1	s51	s53	s67	s78	s87.1	s101	s195	s10	s17	s64	s69
16dr3		1						2	1			2	5	2	1	1	1	1				1	1	1	1
16dr4			6	4	1			2	1					1	2		2	1						2	1
27dr3	1	3		2	1	7		1	2	1		1	3	2	2		2			2		2	6		1
27dr4	1	2	3	2	3	2			1			2	1	3			4	3		3					3
31dr3	1							1	3	1	2				1	2			1	1		1			
31dr4	2			1				1	1						1				2		1				
34dr3						2						2					2		2	1	3	1			
34dr4	1		1															1	4						
41dr3	3			2				1	2	3	3							4				1		1	
41dr4	3				5		2		1		2											2		1	2
46dr3		3				4				2	2	2			2		1	1		3	2	1	1		
46dr4		2	1		1	4			2	1	2			1				1			2			3	
summat	12	11	11	11	11	11	11	10	10	10	10	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	8	8	8	8
	s143	s145	s147	s148	s276	s84	s86	s89	s139	s154	s198	s220	s236	s251	s52	s66	s74	s107	s142	s151	s194	s292	s3	s27	s36
16dr3																1	1						1	3	
16dr4						2	2										1	1						1	
27dr3								5	2							3	2		2						
27dr4	8	5	2	2					5	3							1	3		1	3	1			
31dr3			2	2								1				1		1	3						
31dr4							1				3	1	5						2				1		
34dr3		3	3	1	5		3	1		4	1	6			1			1					1		4
34dr4						1								6				1				1	2	1	
41dr3								1				1			1						3	1			
41dr4						4	1				1		1			1				2		3			
46dr3			1	3	3															1	2				1
46dr4													1						3			1			
summat	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	5

Taulukko 12: Käsitteiden frekvenssitaulukko 1 alkaen suurimmasta frekvenssistä

	s38	s56	s57	s80.1	s138	s170	s182	s14	s23	s25.1	s50	s76	s87.2	s90	s97	s106	s108	s135	s137	s141	s155	s173	s181	s223	s234
16dr3	4	1	1					1	2	2	1														
16dr4	1			5					2			1													
27dr3			2		1									2	4	1	2	2	1	1					
27dr4		2	2		3	1	5				1	2				3		2	3	1	4	3	1		
31dr3						1		2		1							2								
31dr4											1													3	1
34dr3														1											
34dr4														1											
41dr3						1		1				1										1			
41dr4					1						1		4											1	3
46dr3		1				1				1										1			3		
46dr4		1				1														1					
summat	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	s250	s254	s274	s316	s329	s330	s1	s9	s24	s48	s50.3	s79	s80.2	s99	s111	s114	s115	s126	s128	s152	s162	s166	s171	s174	s183
16dr3							2	2	1	3															
16dr4									1		2	3	1												
27dr3							1							3	3	3	3	1	3						
27dr4									1				1							2	3	1	2	1	3
31dr3											1														
31dr4																									
34dr3	3	3	3						1												1			1	
34dr4																							1		
41dr3																		2				2			
41dr4		1		3																				1	
46dr3	1		1		2	2							1												
46dr4				1	2	2																			
summat	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	s197	s210	s225	s226	s230	s233	s238	s253	s279	s293	s304	s321	s2	s18.1	s22	s29	s30.1	s42	s45	s47	s61	s62	s77	s87.3	s91
16dr3														1		1	1		1	1	1	1	1		
16dr4																1						1	1	2	
27dr3															2			1	1	1					2
27dr4																									
31dr3	1	1																							
31dr4		2	2	3	3	2	1						1												
34dr3								3	1									1							
34dr4	1		1															1							
41dr3							1		1	3	1						1								
41dr4	1					1	1		1		2													2	
46dr3												2													
46dr4												1													
summat	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	s94	s102	s110	s112	s123	s127	s129	s130	s132	s140	s146	s150	s153	s157	s158	s160	s167	s172	s175	s180	s184	s187	s189	s190	s191
16dr3																									
16dr4																									
27dr3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1															
27dr4							1			1	2	2	2	1	2	1	2	2	2	1	2	1	2	1	1
31dr3																									
31dr4					1	1																1			
34dr3																									
34dr4																									
41dr3									1																
41dr4										1															
46dr3																1				1				1	1
46dr4														1											
summat	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Taulukko 13: Käsitteiden frekvenssitaulukko 2 alkaen suurimmasta frekvenssistä

	s201	s202	s204	s206	s211	s216	s217	s219	s222	s227	s232	s242	s244	s245	s246	s247	s248	s252	s258	s259	s260	s265	s266	s270	s273
16dr3																									
16dr4																									
27dr3																									
27dr4																									
31dr3	2	2	2	1																					
31dr4					2	2	2	2	2	2	1	2	1												
34dr3														2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2
34dr4																					1				
41dr3																									
41dr4				1							1														
46dr3																	1								
46dr4													1												
summat	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	s281	s282	s284	s285	s287	s288	s289	s295	s297	s298	s299	s300	s311	s326	s327	s331	s46	s50.2	s60.1	s72	s84.1	s88	s92	s93	s95
16dr3																	1								
16dr4																		1		1		1			
27dr3																							1	1	1
27dr4																									
31dr3																			1						
31dr4																									
34dr3	2	2	1	2	2	2	2																		
34dr4																									
41dr3			1					2	1	1	2	1													
41dr4										1		1	2												
46dr3									1					2	2	2						1			
46dr4																									
summat	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
	s96	s100	s103	s104	s105	s109	s113	s116	s118	s120	s121	s122	s124	s131	s134	s144	s156	s159	s161	s163	s164	s165	s168	s176	s177
16dr3																									
16dr4																									
27dr3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1									
27dr4																	1	1	1	1	1	1	1	1	1
31dr3																									
31dr4																									
34dr3																									
34dr4																									
41dr3																									
41dr4																									
46dr3																									
46dr4																									
summat	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	s178	s179	s185	s186	s188	s192	s193	s196	s199	s203	s205	s207	s209	s212	s213	s214	s215	s218	s221	s224	s228	s229	s231	s235	s237
16dr3																									
16dr4																									
27dr3																									
27dr4	1	1	1	1	1	1	1																		
31dr3								1	1	1	1	1	1												
31dr4														1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
34dr3																									
34dr4																									
41dr3																									
41dr4																									
46dr3																									
46dr4																									
summat	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Taulukko 14: Käsitteiden frekvenssitaulukko 3 alkaen suurimmasta frekvenssistä

	s239	s240	s243	s249	s255	s256	s257	s261	s262	s263	s264	s267	s269	s271	s272	s275	s277	s278	s280	s283	s286	s290	s291	s296	s301
16dr3																									
16dr4																									
27dr3																									
27dr4																									
31dr3																									
31dr4	1	1	1																						
34dr3				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
34dr4																				1	1	1	1		
41dr3																								1	1
41dr4																									
46dr3																									
46dr4																									
summat	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	s302	s303	s305	s306	s307	s308	s309	s310	s312	s313	s314	s315	s317	s318	s319	s320	s322	s323	s324	s325	s328	s332	s333	s334	s335
16dr3																									
16dr4																									
27dr3																									
27dr4																									
31dr3																									
31dr4																									
34dr3																									
34dr4																									
41dr3	1	1	1	1																					
41dr4					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1									
46dr3																	1	1	1	1	1				
46dr4																						1	1	1	1
summat	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Taulukko 15: Käsitteiden frekvenssitaulukko 4 alkaen suurimmasta frekvenssistä

	a14	a8	a16	a10	a29	a28	a35	a15	a31	a33	a30	a37	a80	a82	a2	a12	a23	a60	a97	a110	a18	a40	a47	a73	a125
16dr3	1	3	3	1	1	1		3	1	1	1				1	1	1				1				
16dr4	3	3	2	1			1	2		1		3					1	2			1	1			
27dr3	11	10	4	2	2	3	2	3	1	1	1				4	1	1	2					4		
27dr4	10	5	5	1	9	2	1	1	4	5	5						2	2	3					1	
31dr3	2	3	2		1		1					2	1	2							1		1		
31dr4		1		1	1		3					1			1	1			3			2			
34dr3	7		3	2		2	1						1							1	1				
34dr4	5	1	2	3			1		1			1	1							1					
41dr3	3			1		1							1	2							1				4
41dr4	4			1		1	2		1					3					3			1			1
46dr3			4	2		2							2							2				2	
46dr4	1	1	2			1							1					1		2		1		2	
summat	47	27	27	15	14	13	12	9	8	8	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5
	a126	a6	a7	a9	a11	a17	a32	a39	a52	a58	a61	a66	a74	a87	a91	a145	a146	a3	a5	a19	a25	a26	a41	a43	a51
16dr3		1	1	2	1	2	1												1	1	1	1	2		
16dr4			1	2	1	2		1													1				
27dr3		2						1		4	2	1	2						1	1				3	1
27dr4							2			1	3	2	1												
31dr3								1							1				1		1				
31dr4															1					1	1		3		
34dr3			1		2			1					3	3	1										
34dr4								1		1												1			
41dr3	3		1																						
41dr4															2										
46dr3	1	1															2	2		1					1
46dr4	1																2	2							1
summat	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3
	a68	a76	a90	a107	a111	a131	a4	a13	a20	a24	a38	a42	a44	a45	a48	a55	a62	a63	a64	a65	a70	a75	a78	a84	a86
16dr3							2	1	1	1															
16dr4										1	2														
27dr3													2	2	2	1	1	1	1	1	1				
27dr4	2	3																1	1	1	1	1	2		
31dr3																	1						1	1	2
31dr4			3	1																					
34dr3					2																				
34dr4				1																					
41dr3				1		1									1										
41dr4	1					2															1		1	1	
46dr3					1			1	1																
46dr4																									
summat	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	a92	a100	a102	a105	a112	a115	a117	a119	a121	a122	a129	a130	a134	a140	a1	a21	a22	a27	a34	a36	a46	a49	a50	a53	a54
16dr3																1	1	1	1						
16dr4																				1	1				
27dr3																						1	1	1	1
27dr4																									
31dr3																									
31dr4	1	2	2	1																					
34dr3	1				2	1																			
34dr4						2	1	2	2																
41dr3											2	2													
41dr4				1									2												
46dr3						1		1							2										
46dr4																									
summat	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Taulukko 16: Adjektiivien frekvenssitaulukko 1 alkaen suurimmasta frekvenssistä

	a56	a57	a59	a67	a69	a71	a72	a77	a79	a81	a83	a85	a88	a89	a93	a94	a95	a96	a98	a99	a101	a103	a104	a106	a108
16dr3																									
16dr4																									
27dr3	1	1	1																						
27dr4				1		1		1																	
31dr3									1	1	1	1	1												
31dr4														1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
34dr3																									
34dr4							1																		
41dr3																									
41dr4																									
46dr3					1																				
46dr4																									
summat	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	a109	a113	a114	a116	a118	a120	a123	a124	a127	a128	a132	a133	a135	a136	a137	a138	a139	a141	a142	a143	a144	a147			
16dr3																									
16dr4																									
27dr3																									
27dr4																									
31dr3																									
31dr4	1																								
34dr3		1	1	1																					
34dr4					1	1	1																		
41dr3								1	1	1															
41dr4											1	1	1	1	1										
46dr3																	1	1	1	1	1	1			
46dr4																1									
summat	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			

Taulukko 17: Adjektiivien frekvenssitaulukko 2 alkaen suurimmasta frekvenssistä

Mikä on didaktinen rekonstruktio?

Didaktisella rekonstruktiolla tarkoitetaan opettajan itsellensä jäsentämää ja järjestämää tietorakennetta. Kyseessä on opetuksen suunnittelun viitekehys, eräänlainen didaktinen opetusmalli. Didaktista rekonstruktiota tehdessä argumenttikaaviosta saa tukea, mutta sisältö pitää järjestellä ja tulkita opetukseen sopivalla tavalla.

Kannattaa jo alkaa hahmotella laajempaa kokonaisrakennetta ja samalla alkaa miettiä sitä, miten yksityiskohtaisemmat, valosähköistä ilmiötä, Comptonin ilmiötä ja kaksoisrakokokeita kuvaavat rekonstruktiot lopulta tulevat osaksi laajempaa rekonstruktiota. Lopputuloksena pitäisi syntyä perusteltu ja johdonmukainen esitys siitä, miten energian, liikemäärän ja sähkömagneettisen kentän kvantittuminen perustellaan ja miten nämä tuodaan mukaan opetukseen.

Mitä käytännössä pitää tehdä?

Didaktinen rekonstruktio esitetään yleensä kaaviona, jossa käsitteiden väliset suhteet on helppo hahmottaa. Tällaisen kaavioiden avulla siis jäsennetään omaa käsitystä fysiikan tietorakenteesta ja fysiikan käsitteiden välisistä yhteyksistä, siitä miten fysiikan käsitteet rakentuvat tai voidaan rakentaa. Kaaviot auttavat muodostamaan kokonaiskuvan fysiikan tiedosta ja sen rakenteesta. Tavoitteena on jäsentää kurssilla käsiteltävät aihepiirit näkökulmasta, jossa uudet lait tai käsitteet rakentuvat aiemmille käsitteille joko kokeellisen tai mallintavan prosessin kautta.

Didaktiset rekonstruktiot tehdään aiheista energian kvantittuminen (DR1), liikemäärän kvantittuminen (DR2), aaltohiukkasdualismi: valon hiukkasluonne (DR3) ja aaltohiukkasdualismi: elektronien aaltoluonne (DR4).

Didaktisessa rekonstruktiossa esitetään, miten aiheen kannalta keskeiset suureet ja lait muodostavat kytkeytyneen kokonaisuuden. Huomioi käsitteiden rakentumisen järjestys ja eri käsitteiden väliset suhteet. Kaavion käsiteläatikoihin sijoitetaan fysiikan suureet, lait, kokeet ja mallit, joita yhdistävät linkit. Linkillä on tietty suunta, koska rakenteen syntymisellä on järjestys. Graafisen esityksen on heijastettava etenemisen suuntaa eli siitä käy ilmi käsitteenmuodostuksen reitti ja suuntautuneisuus (riippuvuudet muista suureista ja laeista). Numeroi juoksevässä järjestyksessä suureet, kokeet ja mallit ja kirjoita linkkiin lyhyt selitys yhteydestä.

SOLMUINA esitetään annetun aiheen keskeiset:

1. Suureet
2. Lait
3. Periaatteet
4. Kokeet
5. Mallit

Kaaviossa esitetään näiden solmujen välisiä yhteyksiä; miten nämä solmuissa esitetyt käsitteet kehittyvät sekä miten niitä perustellaan? Nämä yhteydet ovat kaavion linkkejä. Solmujen ja linkkien määrää ei ole rajoitettu, mutta solmujen on kuuluttava johonkin luokista 1-5.

Kokonaisuudessaan didaktinen rekonstruktio koostuu kahdesta osiosta:

1. KAAVIO

- Solmut luokitellaan erilaisilla "kehyksillä" (esim. laatikko, ovaali jne.) tai väreillä.
- Merkitään solmun nimi, numerointi ja "kehys" tai väri, joka kuvaa solmun luokkaa (1-5)
- Solmujen väliset yhteydet merkitään suunnatuilla linkeillä, jotka sisältävät numeroinnin ja lyhyen kuvauksen siitä, minkälainen linkissä esitetty yhteys on (n. 1-3 sanaa)
- Solmut numeroidaan siis juoksevasti yhteisellä numeroinnilla, jotta lukemisjärjestys on selkeä
- kartan voi laatia esim. CmapTools -ohjelmalla ja tallentaa kuvatiedostoksi sekä liittää samaan tiedostoon liitteiden kanssa. Ohjelma on ilmainen ja sen voi ladata osoitteesta <http://cmap.ihmc.us/download/> Myös Libreofficella pystyy piirtämään laatikoita ja nuolia.

2. LIITEOSA SOLMUISTA

- Sisältää tarkemmat selitykset jokaisen solmun sisällöistä, esim. lain tai kokeen kuvauksen, suureen määrittelyn jne.

Kokeet voivat olla kvantifioivia (suureen tai lain rakentaminen / määrittely mittaukseen perustuen) tai kvalitatiivisia (käsitteiden merkityksiä tai kvalitatiivisia riippuvuuksia havainnollistavia). **Kokeista pitää kuvata ainakin kokeen motiivi tai päämäärä, koejärjestely, tehtävät mittaukset ja saatava riippuvuus.** Mallit voivat olla esim. ("matemaattisia") määritelmiä tai analogioita. **Mallit ja muut yhteydet selitetään liitteessä niin, että siitä käy ilmi mallin motiivi tai päämäärä ja miten malli rakentaa tai kytkee käsitteet toisiinsa.** Liite siis täydentää kaaviota ja antaa yksityiskohtaisempaa tietoa, kun taas kaavio pyrkii tarjoamaan nopeasti hahmotettavan yleiskuvan jäsennettävästä aiheesta ja sen käsitteiden rakentumisesta ja kytkeytymisestä. Tarkista lopuksi, että esittämäsi rakenne on järkevä, ja että se ei sisällä sellaista (teoreettista) tietoa, jonka ymmärtämiselle ei ole perusteita.